

**UNIVERSITE MONTPELLIER III – PAUL VALERY**  
**Département de Géographie**

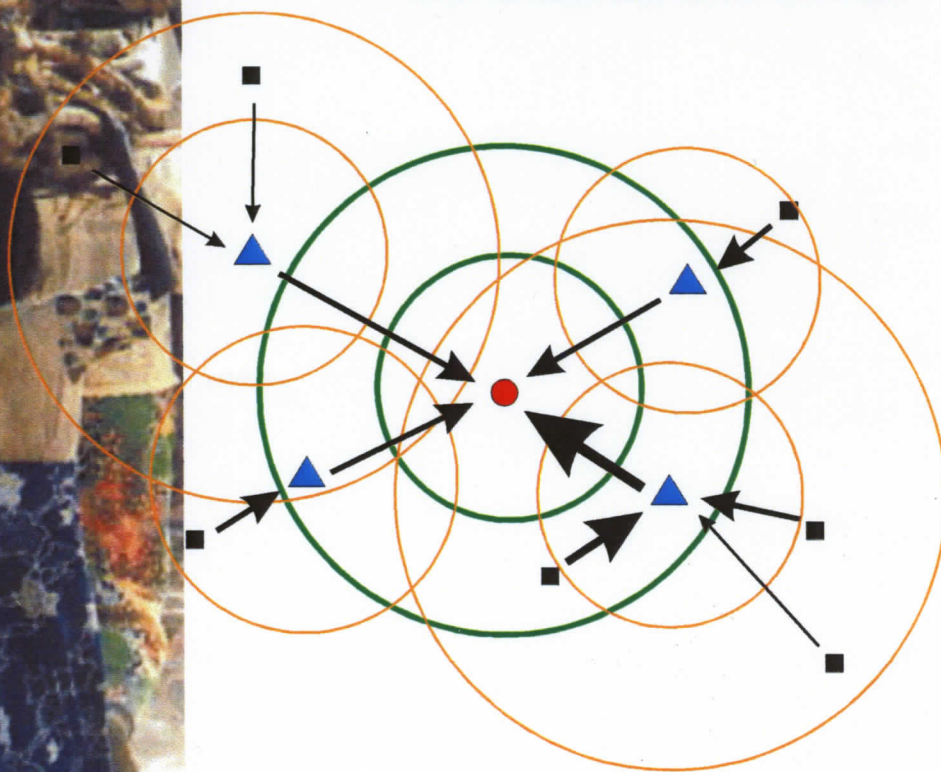
**DEA « MUTATIONS SPATIALES - Développement, Réseaux, Littoraux »**

Mémoire présenté par  
**Laurent GAZULL**

**Organisation spatiale d'une filière  
d'approvisionnement en bois-énergie d'un grand  
centre urbain sahélien**

**Une approche par un modèle d'attraction  
arborescent**

**Sous la direction de J.-Ch. GAY**

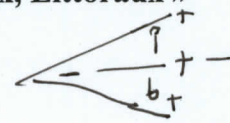


**Septembre 2003**

UNIVERSITE MONTPELLIER III - PAUL VALERY  
Département de Géographie

DEA « MUTATIONS SPATIALES - Développement, Réseaux, Littoraux »

Projet d'1 partie à on compte la forêt



Organisation spatiale  
de l'exploitation commerciale du bois-énergie  
autour d'un grand centre urbain sahélien

Une approche par un modèle d'attraction  
arborescent

Pro

- Disponibilité
- effet agricole < accès
- pression sociale (contrôle social)
- contrôle. (contrôle politique)

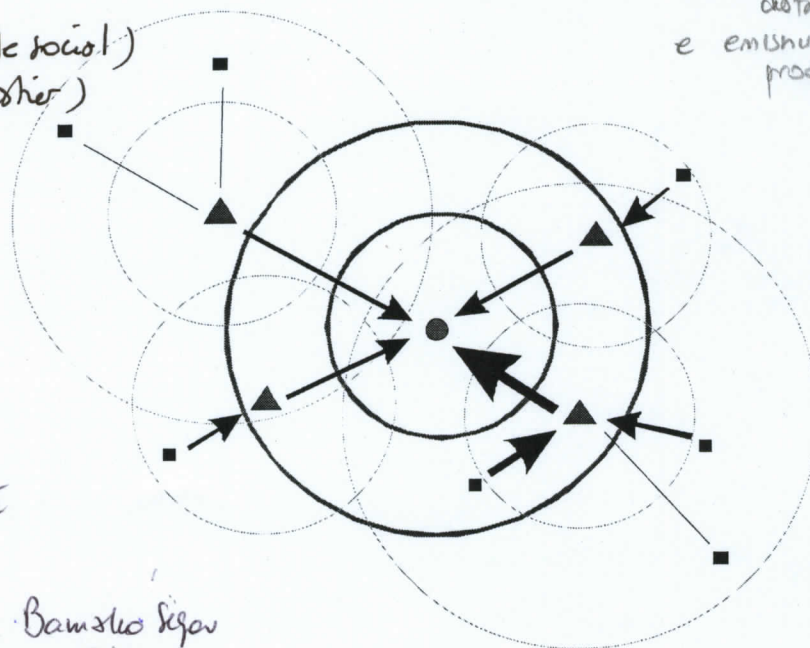
Sous la direction de J.-Ch. GAY

$$I = K * \text{Fonc} * e * d^{\beta}$$

avec  $K = C_1 * (\text{Fonc} * e * d^{\beta})^{-1}$

Fonc : matière fournie de avec distance.  
e : emprise village  
prod / distance ...

Q nouvelle  
[ morphologie spatiale  
morphol sociale.  
approche structurale



Q1 = limite bassin Bamako Segou  
Q2 = Réseau local et fidélité  
portant sur axe et chgt

Q3 =

Septembre 2003



## Mots-clés

bois-énergie; interaction spatiale; filière; aire de chalandise; modèle gravitaire arborescent.

## Résumé

Le bois est à court et moyen terme la source d'énergie privilégiée du Sahel. Le développement urbain que connaissent ces pays accroît la consommation des villes qui devrait dépasser celle des zones rurales à l'horizon 2020.

L'approvisionnement des centres urbains est majoritairement effectué à partir des ressources ligneuses des campagnes avoisinantes. Dans une approche classique de ces aires de chalandise, le coût du transport est le déterminant principal de la localisation de l'exploitation du bois-énergie et la pression sur la ressource est supposée décroître linéairement avec la distance au centre consommateur. Or cette vision orthodoxe est mise en défaut par de nombreuses observations. D'une part, le coût du transport tend d'une manière générale à diminuer alors que le prix de vente du combustible augmente et d'autre part, certaines bassins d'approvisionnement présentent des gradients d'activité croissants avec la distance à la ville.

L'évolution actuelle des filières d'exploitation du bois-énergie se traduit par une multiplication des intermédiaires et une spécialisation des acteurs économiques. Dans tous ces échanges, le poids de l'organisation spatiale de la ressource et des individus rend pertinente une approche des flux par un modèle de type gravitaire.

A la différence d'une approche bipolaire traditionnelle des aires de marchés (modèles centre-périphérie de type Reilly ou Von Thünen), le modèle d'attraction développé considère l'ensemble des acteurs et leurs relations économiques. La filière est schématisée comme une structure spatiale arborescente mettant en interaction une série de nœuds d'échanges. Chaque « nœud » terminal ou intermédiaire est une entité géographique dont la localisation et la dimension spatiale influencent le choix des acteurs économiques.

L'application et le paramétrage de ce type de modèle sur le bassin de Bamako permettent de relativiser le poids de la distance et de l'abondance de la ressource au profit de celui de la concentration des points de vente, de la maîtrise foncière, de la disponibilité de la main-d'œuvre ou encore de la fréquentation des voies de communication.

Nager Veril?

premier décroît avec distance car  $CT \propto$   
(bipolaire)

or  $CT \propto$   
activité / distance (rôle polaire)

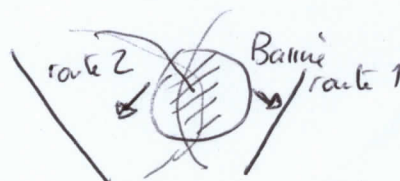
X  
 $\propto$

Multiplic. intern + spécialisation acteurs.

$\Rightarrow$  approche par flux - Modèle type frontaire

Modèle arborescent.

- Variable - distance
- abondance rel.
- $q$  /  $P$  de vente
- maîtrise f.
- main d'œuvre
- vitesse freq.



Sonkya [analyse se succède à l'axe  
ville

Robott. Scénarios à ENDA (de man de se Rel. Louza + C.)

## Remerciements

Je tenais à remercier :

- toutes celles et ceux qui m'ont encouragé à me lancer et à persévérer dans cette aventure scientifique ; en particulier J.P. Cheylan, J.Ch. Gay et D. Gautier.
- toutes celles et ceux qui m'ont aidé à la concrétiser, particulièrement N. Fauvet, S. Tandel, Y. Nouvellet et A. Bertrand.
- toutes celles et ceux que j'ai pu rencontrer lors de mes missions d'expertise au Mali ou au Niger et qui ont éveillé ma curiosité scientifique sur cette problématique.

Merci à Christine pour ses relectures impitoyables.

Merci, enfin, à toutes celles et ceux qui liront ce mémoire et qui trouveront, je l'espère, un certain intérêt à ce travail.



# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>VI</b>
<b>1. ESPACE ET MARCHÉ : APPROCHES TRADITIONNELLES ET PROLONGEMENTS RECENTS.....</b>	<b>1</b>
1.1. DEFINITIONS ET APPROCHES TRADITIONNELLES DES AIRES DE MARCHÉ .....	1
1.2. OUTILS THEORIQUES .....	4
1.2.1. <i>Le paradigme de l'action rationnelle</i> .....	4
1.2.2. <i>La localisation optimale</i> .....	4
1.2.3. <i>l'équilibre économique spatial</i> .....	5
1.2.4. <i>L'interaction spatiale</i> .....	7
1.2.5. <i>Les modèles de décision</i> .....	9
1.3. LE RÔLE DE L'ESPACE DANS L'ORGANISATION DES AIRES DE MARCHÉ .....	12
1.3.1. <i>La séparation spatiale</i> .....	13
1.3.2. <i>Le rôle de l'organisation spatiale</i> .....	14
1.4. QUELQUES GRANDS MODELES D'ANALYSE DES AIRES DE MARCHÉ.....	16
1.4.1. <i>Les modèles normatifs d'organisation spatiale des activités</i> .....	16
1.4.2. <i>Le modèle de Von Thünen</i> .....	18
1.4.3. <i>Le modèle de Launhardt-Weber</i> .....	20
1.4.4. <i>Modèles d'interaction spatiale appliquée à la délimitation des aires de marché</i> .....	23
1.4.5. <i>Le modèle d'aire de marché de Reilly (1929)</i> .....	23
1.4.6. <i>Le modèle de Huff et les modèles d'attraction multicritères</i> .....	25
1.4.7. <i>Le modèle d'interaction spatiale de Fotheringham</i> .....	26
1.5. CONCLUSIONS : DE LA COMPLEXITE DU CHOIX DANS L'ESPACE .....	29
<b>2. LA NATURE DE LA RESSOURCE ; LA STRUCTURE DE L'ACTIVITE.....</b>	<b>31</b>
2.1. DEFINITIONS.....	31
2.1.1. <i>Ressource naturelle</i> .....	31
2.1.2. <i>Bois-énergie</i> .....	31
2.1.3. <i>Productivité, possibilité</i> .....	32
2.2. RAPPELS GENERAUX SUR LA THEORIE ECONOMIQUE DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES LIGNEUSES.....	32
2.2.1. <i>La théorie des ressources épuisables</i> .....	32
2.2.2. <i>Les règles de gestion de la forêt en tant que ressource renouvelable</i> .....	34
2.2.3. <i>Enseignements dans le cadre des prélèvements de bois-énergie</i> .....	35
2.3. LA NATURE DE LA RESSOURCE « BOIS-ENERGIE » AU SAHEL .....	35
2.3.1. <i>La ressource ligneuse au Sahel</i> .....	35
2.3.2. <i>La contribution du bois-énergie à la consommation énergétique globale des pays sahéliens</i> .....	36
2.3.3. <i>Un contexte de crise</i> .....	39
2.3.4. <i>Le bois, seule ressource énergétique à court et moyen terme</i> .....	42
2.4. LA NATURE DE L'ACTIVITE .....	43
2.4.1. <i>Les règles d'accès à la ressource</i> .....	43
2.4.2. <i>La nature et la localisation des prélèvements</i> .....	45
2.4.3. <i>L'attractivité économique de l'exploitation commerciale</i> .....	47
2.5. LA FILIERE BOIS-ENERGIE A USAGE URBAIN .....	50



2.5.1. Organisation verticale de la filière commerciale d'approvisionnement en bois des centres urbains .....	50
2.5.2. Les acteurs majeurs de la filière .....	53
<b>3. CONSTRUCTION D'UN MODELE SPATIAL DE LOCALISATION DES ACTIVITES DE PRELEVEMENT A CARACTERE COMMERCIAL.....</b>	<b>56</b>
3.1. DEMARCHE.....	56
3.1.1. La modélisation et ses objectifs .....	56
3.1.2. Démarche de construction .....	57
3.2. PRESENTATION DU BASSIN D'APPROVISIONNEMENT DE BAMAKO ET DES DONNEES UTILISEES .....	58
3.2.1. Présentation générale du bassin .....	58
3.2.2. Les activités agricoles.....	65
3.2.3. Les prélèvements en bois-énergie .....	68
3.2.4. Données utilisées et traitements effectués.....	69
3.3. LES BASES FORMELLES DU MODELE D'ATTRACTION .....	73
3.3.1. Hypothèse 1 : Une filière dominante contrôlée par les grossistes .....	73
3.3.2. Hypothèse 2 : Un modèle arborescent d'interactions spatiales en série.....	73
3.3.3. Hypothèse 3 : Un équilibre offre/demande au niveau des points de vente en gros. ....	75
3.3.4. Hypothèse 4 : Un milieu anisotrope .....	75
3.3.5. Hypothèse 5 : un pilotage de la filière par l'aval. ....	75
3.4. UNE LECTURE GEOGRAPHIQUE DE LA FILIERE POUR FAIRE EMERGER, SEGMENTS ET ENTITES EN RELATION. ....	75
3.4.1. Le réseau de transport du bois.....	76
3.4.2. Les entités spatiales en relation.....	77
3.4.3. Tendances, formes et gradients : la structure générale du bassin.....	82
3.5. LES PREFERENCES SPATIALES DES ACTEURS .....	87
3.5.1. Les motivations du producteur.....	87
3.5.2. Les préférences des grossistes .....	94
3.5.3. Conclusions et hypothèses retenues.....	98
3.6. LE MODELE RESULTANT : UNE TRADUCTION DES PREFERENCES DES ACTEURS .....	99
3.6.1. Le modèle d'interaction « production primaire ».....	99
3.6.2. Le modèle du segment « distribution de gros » .....	99
3.6.3. Conditions d'équilibre et méthodologie pratique de résolution .....	100
<b>4. APPLICATION ET TEST DU MODELE SUR LE BASSIN DE BAMAKO .....</b>	<b>102</b>
4.1. OBJECTIFS ET DEMARCHE .....	102
4.2. MISE EN ŒUVRE ET PARAMETRAGE DU MODELE.....	102
4.2.1. Etape 1 : Définition d'une surface de friction autour de Bamako.....	102
4.2.2. Etape 2 : Sélection des villages de production et des villages de vente .....	103
4.2.3. Etape 3 : Estimation pour chaque village de vente de la possibilité ligneuse et de sa disponibilité .....	103
4.2.4. Etape 4 : La concentration des points de vente et l'effet de l'éloignement de la ville.....	103
4.2.5. Etape 5 : Estimation pour chaque village producteur de la possibilité ligneuse et de la préférence globale pour la production .....	104
4.2.6. Etape 6 : l'effet de l'éloignement des villages de production à la route .....	104
4.3. RESULTATS ET DISCUSSION .....	105
4.3.1. Une mise en œuvre pratique aisée .....	105



4.3.2. <i>Un équilibre général très influencé par l'état des routes et leur fréquentation</i>	105
4.3.3. <i>La sélection des points de vente : une étape majeure de la chaîne de traitement</i>	105
4.3.4. <i>Des seuils effacés</i>	106
4.3.5. <i>Les écarts entre modèle arborescent et modèle gravitaire simple</i>	106
<b>5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>	<b>111</b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS</b>	<b>115</b>
<b>LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX</b>	<b>116</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>118</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>122</b>

# Organisation spatiale de l'exploitation commerciale du bois autour d'un grand centre urbain sahélien

## Une approche par un modèle arborescent d'interactions spatiales

### Introduction

Depuis plus de 30 ans (Déclaration de Stockholm en 1972), la question des rapports entre l'Homme et l'environnement est au cœur de nombreux débats internationaux.

En Juin 1992, le Sommet « planète Terre » a focalisé ces débats sur les écosystèmes forestiers et affirmé les principes de la gestion écologiquement viable des forêts. Ces échanges n'ont pas simplement mis en évidence la nécessité de préserver la forêt mais ont également abouti à la reformulation des objectifs et moyens des politiques forestières des pays du Sud [BUT01].

Parmi les positions retenues, le principe 22 de la déclaration de Rio accorde une place centrale aux communautés locales dans la gestion de leur environnement :

*« Les populations et communautés autochtones et les autres collectivités locales ont un rôle vital à jouer dans la gestion de l'environnement et le développement du fait de leurs connaissances du milieu et de leurs pratiques traditionnelles. Les Etats devraient reconnaître leur identité, leur culture et leurs intérêts, leur accorder tout l'appui nécessaire et leur permettre de participer efficacement à la réalisation d'un développement durable. »*

Cette réforme des politiques forestières et de la place de l'Etat dans la gestion des ressources naturelles ligneuses est en marche dans la plupart des pays en voie de développement (PVD). Elle tend à transférer vers les communautés locales (forêt communautaires, marchés ruraux ...), la gestion voire la propriété des forêts. L'administration forestière est appelée à jouer le rôle d'arbitre ou de conseiller des acteurs locaux.

Ce désengagement de l'administration forestière va de pair avec le processus global de décentralisation en cours dans ces pays.

En Afrique de l'Ouest, les utilisations de l'espace forestier sont multiples : production de bois, de feuilles, de fourrage ; lieux de chasse, de promenade, d'observation de la faune et de la flore ; lieu d'extension des cultures. Dans la zone soudano-sahélienne, la conversion de la forêt en parcelles agricoles, le surpâturage et la production de bois de feu sont les activités les plus prédatrices de biomasse ligneuse. A titre d'exemple, au Mali, les seuls prélèvements de bois à des fins énergétiques représentent plus de 5 millions de m<sup>3</sup> alors qu'au Gabon, la production industrielle de bois tropicaux pourtant si sujette à polémiques internationales ne dépasse pas les 3 millions de m<sup>3</sup> (Source FAO 2001).

Les forts taux démographiques que connaissent ces pays maintiennent une population rurale et une pression humaine importante sur l'ensemble des zones potentiellement agricoles. Cependant, l'urbanisation<sup>1</sup> et la consommation de bois-énergie associée concentre cette pression dans les zones périurbaines. Pour satisfaire la demande des citoyens, un véritable

---

<sup>1</sup> La population de Bamako est passée de 400000 hab en 1976 à plus de 1 million d'habitants en 1998 – Source : Direction Nationale de la Statistique du Mali.



secteur économique s'est constitué autour des activités d'exploitation, de transport et de commerce de bois-énergie. De nombreux ruraux se sont ainsi transformés en **bûcherons** et l'exploitation du bois énergie occupe désormais une part importante de l'activité des paysans des zones d'approvisionnement des centres urbains [TOU01].

Avec ce développement de l'activité économique « bois-énergie » est née la notion de **bassin d'approvisionnement** qui représente l'aire de chalandise alimentant en bois de feu un centre urbain.

Les évolutions de cette activité en lien avec celle de la demande urbaine, des nouvelles politiques forestières ou encore de la décentralisation introduisent de nouvelles règles d'accès et d'usage des espaces forestiers. Cette nouvelle répartition des rôles des acteurs se traduit par de nouvelles pratiques et une nouvelle distribution des activités dans l'espace.

### Problématique et enjeux de développement.

Ce changement d'échelle dans les niveaux de gestion de la ressource pose de nombreuses questions. Pour l'aménagiste forestier ou le gestionnaire de l'espace le problème majeur est celui de la **cohérence entre les politiques de gestion aux différents niveaux que sont le national, le régional, le communal et le villageois afin d'assurer la durabilité de la ressource.** Cette problématique était déjà soulignée par les signataires de la convention de Rio.

chgt  
échelle  
gém.

Les instruments des politiques forestières sont pluriels et ont des cadres territoriaux variables. Dans la plupart des pays du Sahel, ils se déclinent comme suit :

Non dicton

à l'échelon national, mise en place d'un système de **taxation différentielle** visant à favoriser l'exploitation dans les zones les moins prisées car éloignées des villes et à redistribuer aux populations les revenus du bois.

Why  
Notand?

à l'échelon régional, définition de zones d'intervention prioritaire visant à orienter les actions.

à l'échelon communal, fixation de quotas globaux et de règles d'exploitation

à l'échelon villageois, délimitation de massifs de production, fixation de **quotas locaux**, élaboration d'un plan d'aménagement et création de marchés ruraux seuls habilités à commercialiser le bois.

Ces instruments réglementaires et fiscaux modifient le contexte général d'exploitation et d'échange du bois : la **concurrence** au sein du marché est perturbée ; de **nouveaux acteurs** entrent en jeu ; de **nouveaux lieux** de production et de vente apparaissent ; enfin, de nouvelles **logiques** d'exploitation voient le jour.

]

Les conséquences de cette redistribution des rôles portent sur l'organisation économique de la filière mais également sur l'organisation spatiale de l'activité et de la ressource. On est notamment en droit de se demander si la **gestion à l'échelle villageoise n'aboutira pas à une réduction et à un isolement des formations ligneuses mettant en péril le renouvellement de la ressource ?** Bien que les connaissances soient encore très pauvres sur l'impact de la fragmentation des massifs forestiers sur leur fonctionnement écologique, nombre d'auteurs s'accordent à dénoncer les effets négatifs du morcellement sur la biodiversité spécifique [ZUI 96].

Risque  
Novell?

Ces questions renvoient toutes à celle de l'organisation de la filière et à son inscription dans l'espace: où est prélevé le bois ? où est il consommé ? quels chemins prend-il ?

Ce mémoire s'attachera à analyser la répartition spatiale des prélèvements de bois autour d'un grand centre urbain sahélien.



## Hypothèses générales et méthodologie

L'organisation spatiale des activités a fait l'objet de nombreux travaux d'économistes et de géographes.

Les premiers ont abordé le problème essentiellement en se plaçant dans une dialectique **acteurs/ressources**. Cette dernière est à la base de deux des quatre grands paradigmes de l'économie spatiale : ceux de **Von Thünen et de Weber**. L'espace y est considéré comme un support neutre isotrope entrant dans le calcul économique des acteurs en raison d'un de ses attributs, la **distance**. Ces modèles cherchent moins à comprendre l'espace qu'à le construire idéalement. Ils ont pour objectifs d'expliquer les effets des processus économiques (marchés agricoles, industriels, foncier ...) et des stratégies conscientes des acteurs sur leur localisation [BAU 96]. Dans ce type d'approche, l'espace est un cadre sur lequel sont projetés les choix des acteurs (en général la maximisation du profit). Ces choix façonnent alors l'espace mais hormis la distance, l'espace n'entre pas en compte dans ces choix.

Pour les géographes, l'espace en tant que « système spatial » révèle des stratégies pour la plupart conscientes mais également inconscientes ou tout du moins difficilement explicables [BRU80].

Les activités et en particulier les activités agricoles et forestières s'inscrivent fortement dans l'espace. Elles façonnent les paysages mais en retour la configuration spatiale des ressources (sol, forêt) conditionnent les stratégies des acteurs. La taille, la forme, l'agencement des massifs forestiers influencent les choix de localisation des prélèvements et leur intensité [LAR00, LAR90].

qui ?

De la même façon, la position relative des points de vente, l'accessibilité des marchés, la viabilité des voies de communication sont autant de facteurs dont dépendent le choix des transporteurs commerçants.

L'espace est donc à la fois mémoire, ressource, facteur et produit de l'activité.

C'est dans cette dialectique **Acteurs/Ressources/Espace**, que nous plaçons ce travail.

Nous proposons d'expliquer la **localisation et l'intensité des prélèvements à partir d'une modélisation des interactions spatiales**. L'objectif est de réaliser un modèle permettant de mesurer les échanges de bois de feu en fonction de l'organisation spatiale de la ressource et des acteurs concernés. En favorisant ainsi une démarche d'explication par des données contextuelles<sup>2</sup> facilement observables et quantifiables, le modèle a pour ambition de pouvoir être appliqué à l'échelle de l'ensemble d'un bassin d'approvisionnement (surfaces allant de 20000 km<sup>2</sup> à plus de 100000 km<sup>2</sup>).

expliquer

La modélisation choisie n'a pas pour but la prédiction précise (en valeur absolue) des flux mais doit révéler les différences de contexte et de stratégie au sein de l'aire considérée afin d'aider les gestionnaires de l'espace à orienter les politiques de gestion ou éventuellement d'alimenter d'autres modèles (notamment les modèles économiques).

### Une démarche : une articulation entre analyse spatiale et analyse des stratégies d'acteurs

<sup>2</sup> On appellera donnée contextuelle toute variable décrivant le contexte dans lequel se déroule un phénomène social : localisation, voisinage, statut administratif, ....



Dans l'étude des aires d'approvisionnement en bois-énergie des centres urbains africains, une hypothèse communément admise est que la pression sur la ressource est d'autant plus forte que l'on est **proche du centre urbain**, ce qui donne au bassin une forme en anneaux concentriques [CHO97, ESM01].

Cette figure classique en géographie n'est cependant pas de mise partout : des différences significatives de pratiques s'observent entre les villages situés au sein d'une même couronne ; certaines villes (Kano au Nigeria par exemple, étudiée par **Cline Cole**<sup>3</sup> [CLI87]) démontrent un effet inverse : la pression est d'autant plus forte que l'on est éloigné du centre. Ces déviations par rapport au modèle s'expliquent en grande partie par les types de contrôles exercés sur l'accès à la ressource et par le poids des dynamiques agricoles qui créent des forces de résistance à la demande urbaine [CLI87, RIB90]

Les modèles les plus utilisés actuellement pour expliquer la localisation des prélèvements et leur évolution sont de deux types :

- *Des modèles méso-économiques* travaillant à l'échelle du bassin d'approvisionnement. Ce sont soit des modèles statistiques de régressions multiples, soit des modèles économiques spatiaux de type von Thünen ou enfin des modèles d'interaction spatiale de type gravitaire. Ils ont en commun de mettre en relation directe **la demande urbaine et la dynamique de la ressource**. La logique de la filière économique et les stratégies des acteurs en sont généralement absents.
- *Des modèles micro-économiques* élaborés par simulation à l'aide de Systèmes Multi-Agents. (SMA). Ils travaillent à l'échelle du village ou d'un petit groupe de village et tentent essentiellement d'expliquer l'impact des instruments de la politique forestière sur l'exploitation.

La démarche suivie dans ce travail s'inscrit dans le cadre d'une approche atomiste des systèmes spatiaux : « **Le jeu des interactions entre les entités spatiales d'un niveau inférieur se traduit par l'émergence et le maintien de formes ayant du sens à un niveau supérieur** » [HOL 02].

HOL 02?

Les stratégies des acteurs façonnent l'espace forestier : le commerce du bois concentre les points de vente au bord des routes, le paysan défriche pour planter du coton, la demande en charbon de bois de bonne qualité exerce une pression accrue sur certaines espèces ligneuses et sur certaines zones géographiques...

Mais dans le même temps, ces stratégies sont conditionnées par l'organisation spatiale de la ressource et des acteurs eux-mêmes : la dispersion des points de vente influence le choix des commerçants ; l'éloignement des massifs forestiers et leur position relative par rapport aux champs sont des facteurs déterminants pour le paysan bûcheron, etc ...

Nous proposons donc d'expliquer la localisation des prélèvements au travers d'un modèle d'interaction spatiale à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement prenant en compte les stratégies des acteurs au travers de leurs choix de localisation et de l'inscription spatiale de leurs activités.

Ce type de modèle permet de mesurer l'**intensité des échanges entre deux lieux en fonction de leurs facultés d'émission et de réception, de leur séparation spatiale et de l'organisation spatiale générale de l'activité**. Il est très largement utilisé dans l'étude des aires de marché. Il offre l'avantage d'un modèle simple, robuste permettant de tester différentes hypothèses de

<sup>3</sup> Cline Cole met en évidence que les zones à la périphérie immédiate de Kano sont aussi boisées que les zones éloignées mais qu'elles ne participent plus à l'approvisionnement de la ville.



choix à partir de matrices origine-destination. Outre l'intégration des facteurs de choix, nous tenterons de raffiner le modèle par la prise en compte de la logique d'une filière économique comportant différents acteurs : producteur, transporteur, contrôleur et vendeur.

Nous débuterons par une analyse générale de l'activité de prélèvement et des filières économiques et de leurs acteurs majeurs. Elle s'appuiera sur une revue bibliographique des études sociales, économiques et géographiques réalisées depuis ces vingt dernières années dans le domaine de la gestion des ressources forestières au Sahel.

Dans un second temps, nous proposerons une forme générale de modèle permettant d'intégrer ces différents acteurs dans un modèle d'interaction spatiale et nous construirons les entités spatiales en relation.

Dans un troisième temps, les préférences des acteurs seront étudiées plus finement afin d'affiner la formalisation du modèle et d'apprécier le poids de la distance et de l'organisation spatiale. Cette analyse reposera sur des enquêtes sur les flux de matière et les préférences des acteurs, effectuées dans différents pays sahéliens, à des échelles régionales et villageoises. Les choix de localisation seront traduits en terme d'émissivité, d'attractivité et d'effort de franchissement de l'espace.

Enfin, nous formaliserons le modèle d'attraction et nous en expliquerons les paramètres.

) choix localisé.

### Contexte empirique

Le terrain d'étude choisi pour ce travail est la zone d'approvisionnement en bois énergie d'une grande ville sahélienne. Le modèle sera élaboré à partir d'observations effectuées dans les bassins de Dakar (Sénégal), Bamako (Mali), Niamey (Niger) et N'Djamena (Tchad).

Néanmoins la majorité des données proviennent d'enquêtes réalisées à Bamako.

Le bois rentre pour plus de 90 % dans la satisfaction des besoins énergétiques des populations du Sahel. Ces ressources proviennent essentiellement des formations forestières naturelles, les plantations étant trop récentes et de superficies limitées. Ceci se traduit par des prélèvements importants autour des principaux centres urbains pour satisfaire leurs besoins en énergie. Pour ne reprendre que les chiffres du secteur bois-énergie, la consommation annuelle de Bamako est passée de 600000 tonnes de bois en 1994 à environ 800000 tonnes en 2000. (Chiffres SED 1998 et 2000)

Face à cette pression, la plupart des pays sahéliens se sont engagés dans des projets promouvant un nouveau mode de gestion de ses ressources forestières qui conduit à une réorganisation de la filière bois principalement autour des centres urbains les plus demandeurs, et à une plus grande association des populations locales. Ces nouvelles politiques appelées « Stratégie pour l'Energie Domestique » (SED) visent une gestion rationnelle des ressources forestières tout en améliorant l'accès à l'énergie par les populations consommatrices et en assurant une meilleure redistribution des bénéfices.

Un des instruments majeurs de ces politiques est le Schéma Directeur d'Approvisionnement (SDA). Il représente un outil de planification de l'exploitation à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement.

L'élaboration des SDA représente la première étape du processus de mise en place de la nouvelle politique de gestion des ressources ligneuses. Ils ont pour objet de dresser un état des lieux de l'adéquation entre l'offre et la demande à l'échelle des bassins d'approvisionnement afin de fixer les quotas de prélèvement. Ils nécessitent un effort considérable en terme



d'acquisition de données : état de la ressource, enquêtes de trafic, enquêtes de consommation des ménages ...

Les critiques majeures à leur encontre portent sur l'absence de mise à jour de ces schémas et sur l'**inadéquation des unités spatiales de calcul à la réalité des pratiques** : ils fournissent une image grossière de l'équilibre offre-demande à un instant donné, et pourtant fixent les quotas de prélèvement pour de nombreuses années; les données sont agrégées sur des unités administratives (arrondissements ou communes rurales) qui ne reflètent pas la diversité des situations au niveau villageois [FOL02].

Pour être un véritable outil de planification et de suivi écologique et socio-économique, le SDA doit donc être facilement réactualisable et doit asseoir ses orientations sur des unités spatiales cohérentes avec la réalité des pratiques.

Notre travail s'inscrit dans une recherche/action visant à améliorer la qualité et la pertinence de ces schémas.

# 1. Espace et marché : approches traditionnelles et prolongements récents.

## 1.1. Définitions et approches traditionnelles des aires de marché

Le bassin d'approvisionnement en bois d'un centre urbain sahélien peut se définir comme l'aire sur laquelle le bois est prélevé, transformé, transporté et vendu. Il représente l'ensemble des lieux où s'opère la rencontre entre la demande urbaine et l'offre rurale. Dans cette acception à la fois géographique et économique, il a valeur d'aire de marché [BEG 94].

Dans la suite de ce rapport on emploiera indifféremment les termes de bassin, d'aire de marché ou même de marché dans la mesure où nous considérerons l'acception spatiale de ce concept.

L'aire de marché représente un sous-ensemble de l'espace géographique dans lequel est produit, vendu et consommé un bien particulier. L'analyse des aires de marché est intimement liée à celle de la localisation des acteurs économiques et de leurs besoins en ressources.

L'étude de ces « objets géographiques » représente une part importante du champ de l'analyse spatiale<sup>4</sup>. D'une manière générale, les différentes théories qui en sont issues vont tenter de répondre à la question fondamentale : **Qui se localise où ?** « Qui » se réfère aux trois principaux acteurs économiques : producteurs (de biens ou de services), vendeurs et consommateurs. « Où » se réfère à des entités géographiques très variables selon les biens : ville, périphérie urbaine, plaine agricole, collectivité territoriale, ressources naturelles ...[FUJ97]

Selon les courants de pensée et les biens étudiés, l'analyse portera essentiellement sur :

- la forme (taille, géométrie) des aires de marché
- les relations entre les lieux de production et les lieux de vente ;
- les relations entre les lieux de consommation et les lieux de vente ;
- les positions relatives des lieux de production, de vente, de consommation entre eux ;
- Les processus d'agglomération ou de dispersion

Trois types d'approches dominent le champ de recherche de la discipline :

**L'approche normative**, historiquement la plus ancienne, vise à construire un espace économique idéal, rationnel et « en ordre » dans lequel les hypothèses principales de la théorie néoclassique des échanges sont vérifiées. La satisfaction des producteurs et des consommateurs est maximale. Cette démarche constitue le fondement de l'école traditionnelle de l'économie géographique encore appelée « **théorie de la localisation** ». Elle a donné naissance aux quatre grands paradigmes de la discipline expliquant la localisation des activités agricoles (Von Thünen en 1826), industrielles (Weber en 1909), commerciales (Hotelling en 1929) et de service (Christaller et Lösch en 1933 puis 1944)

**L'approche déterministe** vise à assimiler les lois de localisation au sein d'un marché à des principes naturels. Ainsi, la connaissance complète de l'état de l'univers permet de prédire l'organisation unique de l'espace économique résultant [DUR01b]. L'approche normative est une approche déterministe. Cependant, ce courant est dominé par la **théorie de l'attraction**

<sup>4</sup> Nous retiendrons ici une définition très générale de ce terme: « Ensemble des méthodes mathématiques et statistiques visant à préciser la nature, la qualité, la quantité attachées aux lieux et aux relations qu'ils entretiennent en étudiant simultanément attributs et localisations » (Brunet, 1992 – Les mots de la géographie)



gravitaire, issue d'une analogie avec les lois de la gravitation de Newton, selon laquelle le volume d'interaction entre deux lieux dépend de la « masse » des lieux émetteur et récepteur et d'une fonction inverse de la distance les séparant. Il est à l'origine d'une tradition de recherche partagée entre économistes et géographes sur les rapports (échanges, positions relatives) entre lieux centraux et périphéries.

Les modèles des économistes Reilly (1933) et Huff (1960) visant à décrire les aires de marchés d'un ensemble de lieux centraux se rattachent à cette approche.

Plus de +  
récat ?  
fini =

L'approche « comportementaliste » considère les préférences des acteurs et leurs choix en matière de localisation et de points de vente. Cette démarche trouve sa source dans les différentes avancées de la théorie de la décision. L'acteur économique – producteur, vendeur, consommateur – est replacé au cœur de l'analyse. Il est confronté à un problème de choix dans lequel l'espace joue certes un rôle essentiel mais n'occupe plus la place prépondérante qui lui est donnée dans les modèles gravitaires. Les alternatives de choix sont évaluées en fonction de leurs attributs spatiaux (situation géographique, séparation spatiale) et de leurs caractéristiques non spatiales (taille, image, prix pratiqués, assortiment, effets de fidélisation) selon différents modèles de décision multicritère [VOL 99].

Le modèle de Huff (1960) bien que très « gravitaire » dans sa forme est sans doute le premier modèle à introduire cette notion de choix. Les modèles de Mac Faden (1978) et Fotheringham (1983) prolongent ces travaux.

domine ?

Ces trois approches se complètent et peuvent même se recouvrir, en particulier car la préférence d'un point de vente dépend partiellement de la proximité géographique et car l'approche normative a mis en évidence le rôle de la distance dans les comportements de choix des acteurs et a ainsi influencé les deux autres démarches.

La Figure 1 synthétise les principaux modèles issus de ces trois approches et leurs liens historiques.

Ces modèles reposent sur un ensemble d'outils théoriques développés essentiellement dans le champ de l'économie spatiale dont les principaux sont : l'action rationnelle, l'équilibre économique spatial, l'interaction spatiale et les théories de la décision. Le paragraphe suivant détaille ces quatre grands outils et souligne leur application pour l'étude des aires de marché.

Volle Donplur

Tomé / Pecqueur

↓  
Geo  
proximité

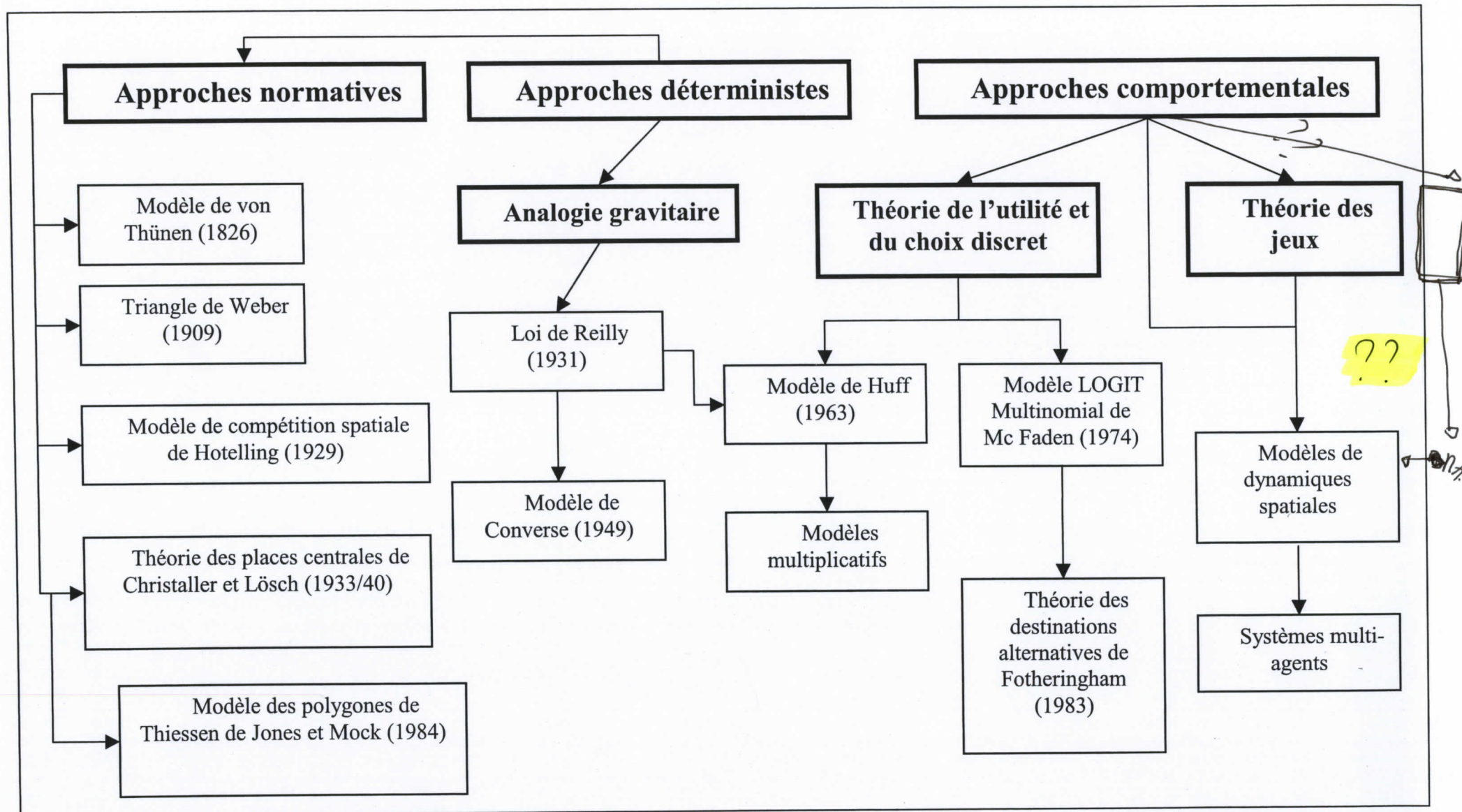


Figure 1 : Approches et modèles d'analyse des aires de marché

sk. Ville  
 2, C, B  
 A Apts (Athe, Nethe, 150, 150)  
 E Enur (Athe, Nethe, 150, 150)  
 I Interco (A/E, 150)  
 O organisation - 150  
 Ville  
 Drog  
 B Coll



## 1.2. Outils théoriques

### 1.2.1. *Le paradigme de l'action rationnelle*

La plupart des théories de la localisation se basent sur des modèles de comportement des acteurs soit à des niveaux individuels soit à des niveaux agrégés. Le comportement de l'agréat étant alors le comportement dominant dans le groupe, ou tout du moins sa part visible.

Le comportement de référence est donné par le modèle néoclassique de l'action rationnelle de l'Homo Œconomicus. Pour les économistes, agir « rationnellement », c'est choisir l'alternative la plus efficace c'est-à-dire celle qui satisfera le plus l'individu pour un coût donné ou celle qui pour un résultat donné coûtera le moins: le consommateur achète des biens de manière à maximiser l'utilité<sup>5</sup> de l'ensemble c'est-à-dire à maximiser sa satisfaction; le producteur produit automatiquement de façon à maximiser son profit [ALL02].

Selon la théorie classique de l'utilité, l'acteur dispose d'une fonction d'utilité, encore appelée fonction de préférence qui lui permet de mesurer et d'ordonner ses choix conformément aux valeurs qui sont les siennes et aux objectifs qu'il s'est fixé. La décision qu'il prend est optimale, unique, et exclut les autres alternatives.

L'espace, pour l'acteur rationnel représente un coût ou un effort dû au franchissement de la distance. Il cherche donc à le minimiser: l'industriel s'implante là où l'ensemble des coûts de transport de la matière première et des produits finis est le plus faible; l'agriculteur choisit ses productions en fonction du coût de transport jusqu'au marché le plus proche; le consommateur choisit les magasins les plus proches de son domicile.

Cette conception de l'espace domine dans la plupart des modèles spatiaux théoriques des aires de marché : Von Thünen, Weber, Lösch ou Huff par exemple.

### 1.2.2. *La localisation optimale*

Les premières théories de la localisation sont basées sur la théorie de l'équilibre économique général (EEG) de L. Walras (1874) et sur le modèle néoclassique du comportement rationnel des acteurs économiques.

Walras considère que dans le cadre d'une concurrence pure et parfaite, l'économie de marché connaît un équilibre général qui correspond à la satisfaction maximale des acteurs : l'optimum économique au sens de Pareto. Ses travaux consistent essentiellement en une formalisation mathématique de cet équilibre. La plupart des économistes spatiaux tenteront d'intégrer l'espace ou tout du moins la distance dans ce modèle d'équilibre.

L'objectif des premiers économistes fondateurs des théories de la localisation optimale, n'est pas de comprendre l'organisation spatiale des acteurs économiques mais de construire des modèles optimaux de localisation de ces mêmes acteurs compatibles avec les hypothèses du modèle néoclassique.

La démarche de recherche de la localisation optimale peut se résumer ainsi: connaissant le nombre d'acteurs, les prix de production et/ou les prix de vente, la localisation et la quantité des ressources, le coût des transports, quelle est l'organisation spatiale des acteurs et des activités débouchant sur le niveau de satisfaction maximal ?

---

<sup>5</sup> l'utilité peut être définie comme la qualité d'un bien ou d'un service qui le rend apte à satisfaire les désirs des agents économiques



Cette économie spatiale « normative » s'est intéressée à la localisation optimale des grandes activités humaines : production de biens agricoles (Von Thünen), production de biens industriels (Weber) et localisation des commerces (Hotelling) .

#### 1.2.2.1. *La localisation optimale des activités agricoles*

Von Thünen en 1826 développe un modèle permettant de déterminer la production agricole optimale en tout lieu d'une plaine homogène polarisée par un marché urbain. En partant d'hypothèses très simplifiées : un marché central avec des prix donnés, une production indépendante de la localisation, des coûts de transport linéaires, von Thünen montre que la rationalité des agriculteurs aboutit à une spécialisation de l'occupation agricole des sols sous la forme de couronnes concentriques autour du centre de consommation.

#### 1.2.2.2. *La localisation optimale des industries*

Weber en 1909 définit un modèle de localisation optimale d'une unité industrielle de production offrant sur un marché unique un produit unique fabriqué à partir de deux intrants dont la source est localisée. Le problème n'ayant pas de solution analytique, Weber développe une méthode géométrique permettant de localiser le point minimisant l'ensemble des coûts de transport. Tout comme von Thünen, Weber suppose dans un premier temps les facteurs de production indépendants de la localisation. Cependant dans un deuxième temps, il infléchit ces hypothèses et offre une déviation du modèle prenant en compte les variations spatiales du coût de main-d'œuvre et les économies dues à l'agglomération des entreprises.

#### 1.2.2.3. *La localisation optimale des activités commerciales*

Hotelling en 1929 s'intéresse à la localisation des commerces en concurrence pour la captation de clients dans l'espace. En partant d'une situation où le marché est représenté par un segment de droite sur lequel les consommateurs sont uniformément répartis et pour lequel la demande est parfaitement inélastique<sup>6</sup>, Hotelling montre que la localisation optimale d'unités de vente concurrentes est concentrée au centre du marché. Ce principe est appelé « principe de différenciation minimale ». Les points de vente se concentrent lorsque leurs produits sont suffisamment différenciés, lorsque les coûts de transport sont faibles ou lorsque les deux conditions sont réunies

DE CÔTÉ V  
PRIX.

#### 1.2.3. *l'équilibre économique spatial*

Le concept d'équilibre économique spatial dérive directement de celui d'équilibre économique général énoncé par Walras. Cette théorie a été développée par le géographe W. Christaller en 1933 puis reprise et affinée par Lösch en 1940. Pour ces derniers, dans des conditions idéales de marché, se développe un équilibre spatial entre les firmes aboutissant à une organisation spatiale ordonnée et régulière de ces dernières: les entreprises de biens et services se répartissent dans l'espace de manière à ce que leurs aires de marchés ne se chevauchent pas et couvrent l'ensemble de l'espace des clients.

Les hypothèses sont fortes : le produit est homogène, les clients sont répartis uniformément, l'information circule parfaitement, les coûts de transport ne sont pas nuls.

Dans cet univers idéal et fermé (les consommateurs ne sont pas censés acheter en dehors de la région), les entreprises choisissent de s'implanter de manière à maximiser leur profit

Cette théorie repose sur deux principes: **le principe de moindre effort et le principe de hiérarchisation des produits :**

---

<sup>6</sup> On définira l'élasticité de la demande comme la possibilité de variation de la demande notamment par rapport au prix du produit. Une demande inélastique se traduit par une demande constante quel que soit le prix. Une forte élasticité se traduit au contraire par une forte variation de la demande en fonction du prix.



Les consommateurs agissent selon le principe de moindre effort et choisissent (toutes choses égales par ailleurs) toujours le service ou le bien le plus proche.

Les consommateurs hiérarchisent leurs déplacements. A chaque bien est associée **une portée limite** (range) c'est-à-dire une distance maximale que les consommateurs sont prêts à parcourir pour se le procurer.

A chaque firme, selon la fréquence d'achat de ses produit est également associée, une **aire de rentabilité** (threshold): c'est l'aire minimale (c'est-à-dire le nombre minimum de clients potentiels) que doit desservir une entreprise pour assurer le maintien de son activité. Plus la fréquence est forte ce qui est le cas pour les produits ou services dits « de commodité », plus cette aire sera petite.

Dans l'équilibre löschien, pour un même produit, la compétition spatiale réduit le nombre de clients par unité de production et façonne les aires de marché à un niveau identique pour toutes les firmes. Le nombre de firmes entrant sur le marché augmente au cours du temps, diminuant alors les profits de chacune, jusqu'à atteindre un nombre limite « d'équilibre » pour lequel les marges sont presque nulles.

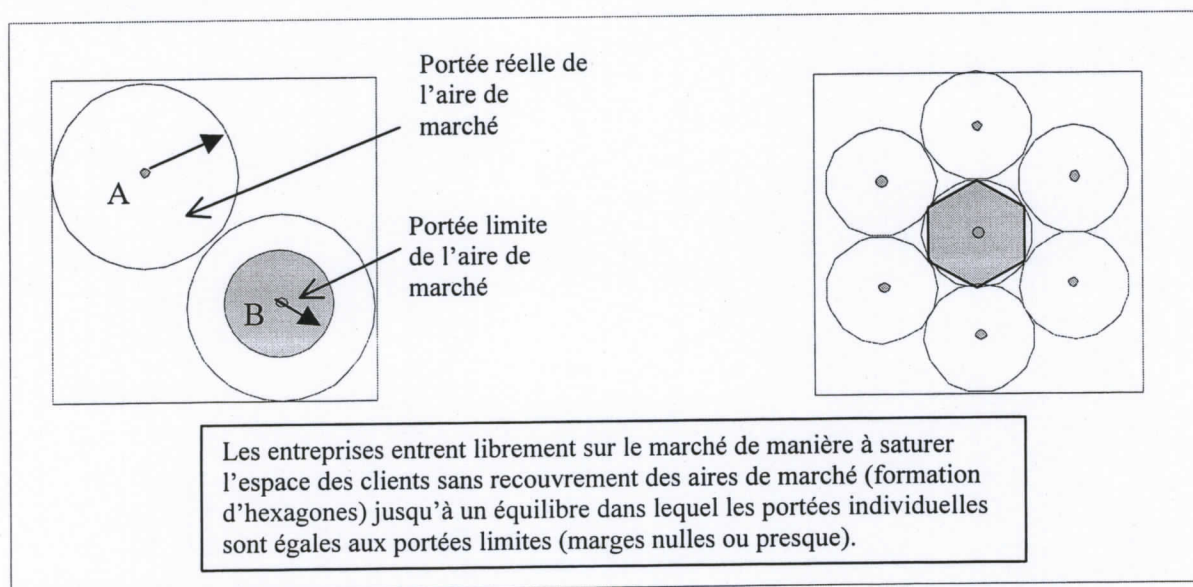


Figure 2 : La formation de l'équilibre spatial löschien

La hiérarchie des produits et services ordonne et structure les lieux de l'offre créant ainsi de grosses places centrales où sont offerts les biens dits de comparaison/conviction et les services rares, et de petites places périphériques où sont délivrés des biens et services de commodité (commerces et services de proximité).

Cette théorie de la spécialisation et de la hiérarchie des centres fournisseurs de biens et services est aussi appelée « Théorie des Places Centrales ».

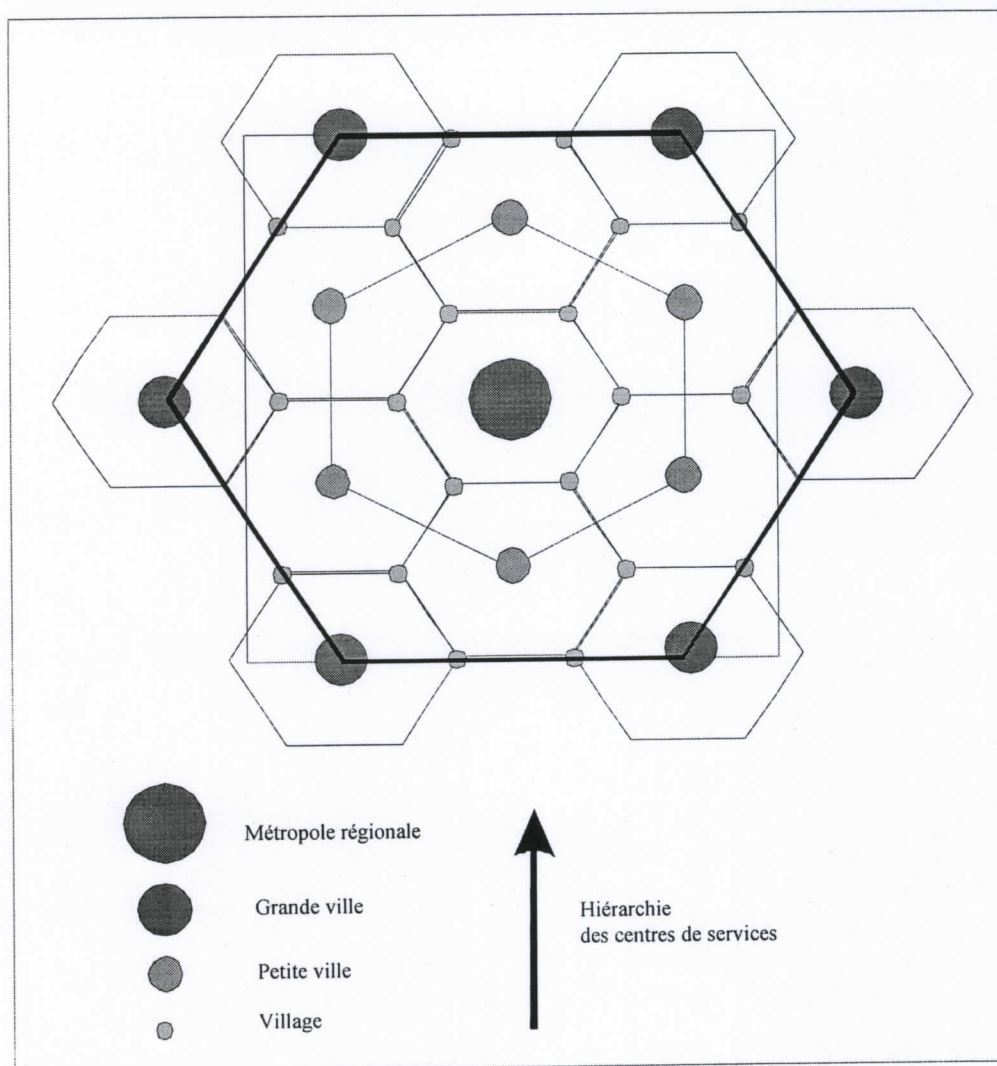


Figure 3 : Hiérarchisation des centres commerciaux et de services selon la théorie des places centrales (Christaller et Lösch)

#### 1.2.4. *L'interaction spatiale*

Le concept d'interaction spatiale est difficile à exprimer et de nombreux auteurs le définissent plus par ses effets que par sa nature même.

L'interaction spatiale pourrait se définir comme l'ensemble des relations fonctionnelles entre des entités spatiales ou des individus localisés se traduisant par des flux (de biens, de personnes, d'informations, de capitaux ...), des échanges (d'informations, de services ...) [PIN94, HOL01], des dépendances, voire des causalités [VER94]. Elle emprunte à la fois à des phénomènes économiques, sociologiques, psychologiques, voire physiques.

L'hypothèse de base est que toute entité (de l'individu à la nation) entretient avec les autres entités plus ou moins proches des relations qui vont l'influencer et générer des échanges. L'intensité de ces échanges dépend de l'éloignement et de la position relative des entités en présence [PUM01].

Ce concept a été depuis longtemps utilisé pour l'analyse des aires de marché aussi bien par des économistes que par des géographes. Dans ce domaine, deux courants majeurs<sup>7</sup> de

<sup>7</sup> Les modèles de maximisation globale de l'entropie (Wilson 1970) ne seront pas abordés ici car peu utilisés pour l'étude des aires de marché.



recherche coexistent. Ils conduisent à des explications différentes du rôle de la distance et des facteurs de choix des acteurs.

**Les approches « gravitaires »** font dépendre les flux entre deux lieux de la masse des lieux émetteur et récepteur ainsi que d'une fonction puissance négative ou d'une fonction exponentielle négative de la distance qui les sépare. Cette théorie est directement issue d'une analogie avec le modèle physique de la gravitation de Newton. La distance y joue un rôle prépondérant. L'individu en revanche y a peu de place. Ce type de modèle ne s'intéresse pas à des échanges observés au niveau individuel mais à l'ensemble des comportements des individus dont la résultante représente « la masse » de l'entité géographique considérée.

Les formalisations du modèle sont nombreuses. Elles prennent toutes néanmoins la forme suivante :

$$\overset{\text{flux}}{F_{ij}} = k f(P_i, P_j) g(d_{ij})$$

$F_{ij}$  = Flux entre i et j

$k$  est un paramètre d'ajustement

$P_i$  = capacité d'émission de l'entité i —

$P_j$  = capacité d'attraction de l'entité j —

$d_{ij}$  = distance entre i et j



| Kump Weisbach. ENS Ulm.

$f(P_i, P_j)$  est la plupart du temps donnée comme la somme ou le produit de  $P_i$  et  $P_j$

$g(d_{ij})$  est une fonction puissance négative ou une fonction exponentielle négative de  $d_{ij}$

Ce type de modèle a été utilisé pour la première fois pour la délimitation des aires de marché en 1929 par l'économiste W. Reilly. Selon lui, l'attraction d'un point de vente est une fonction croissante de sa taille et une fonction décroissante de sa distance aux clients potentiels. Autrement dit, plus un magasin (ou une ville) est grand et plus il est proche des clients, plus il attire.

$$A_{ij} = \frac{P_i}{D_{ij}^2}$$

avec,  $A_{ij}$  attraction du centre i sur le client j,  $P_i$  taille du centre i et  $D_{ij}$  distance entre le centre i et le client j

**Les approches « comportementalistes »** font dépendre l'attraction d'un point de vente des comportements individuels de choix des clients.

Elles s'inspirent essentiellement des différentes théories de la décision et notamment de celles du choix discret<sup>8</sup>. Elles mettent l'individu et le processus de décision au cœur du problème. L'acheteur (ou le vendeur) est confronté à un choix de destinations qu'il fait en fonction de plusieurs critères qu'il hiérarchise et agrège pour prendre sa décision. La distance

<sup>8</sup> Traditionnellement dans l'analyse économique de la demande, le choix individuel est représenté par une variable continue (la fonction d'utilité). Or, dans la réalité, l'individu est souvent confronté à un nombre restreint de choix possibles, autrement dit des choix discrets.

n'intervient plus que comme un des paramètres de construction de cette préférence au même titre que le prix, le choix, la qualité des produits, etc...

De plus l'approche devient probabiliste. L'attraction est mesurée par une probabilité de sélection ou de mouvement.

Huff en 1963 a été le premier à proposer un tel modèle : Selon lui, la probabilité qu'un consommateur  $i$  visite un magasin (ou une ville)  $j$  est égale au rapport entre l'utilité espérée du magasin et la somme des utilités de tous les magasins considérés.

$$P_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_{k=1}^j U_{ik}}$$

Depuis, d'autres modèles ont été proposés. Ils diffèrent principalement par les critères retenus dans la définition de l'utilité, par les procédures d'agrégation de ces critères (procédures additives vs multiplicatives) et par la prise en compte de la concurrence spatiale.

Enfin, une troisième voie est celle de la théorie de l'attraction attitudinale : le point de vente attire d'autant plus que son image auprès de la clientèle est bonne [VOL99]. Cette approche met l'accent sur le caractère cognitif et affectif de la décision du consommateur et peut être intégrée dans le deuxième courant sus cité.

Ces approches de l'attraction d'un point de vente (ou d'un centre d'achat) donnent au concept d'interaction spatiale trois dimensions : une dimension déterministe, une dimension stochastique et une dimension comportementale.

#### 1.2.5. Les modèles de décision

Le comportement néoclassique « maximisateur » repose sur quatre hypothèses:

1. L'objectif de l'agent est clair
2. Les biens ou alternatives peuvent être ordonnés selon leur utilité
3. La relation de préférence est transitive : Si A est préféré à B, et B à C alors A est préféré à C.
4. Le choix est conscient.

Or, ces hypothèses sont dans de nombreux cas remis en question par les comportements réels des acteurs. Van den Bergh cite [BER00] entre autres raisons :

- L'influence du regard des autres peut engendrer des comportements irrationnels (effets d'entraînement ou au contraire de blocage).
- La transitivité des préférences est rejetée par de nombreuses observations.
- L'utilité est dans de nombreux cas difficilement mesurable et ordonnable surtout si l'activité concernée touche à des sujets environnementaux.
- La satisfaction du consommateur est une fonction qui ne dépend pas que du produit lui-même mais du contexte dans lequel il est acquis.

peer.

contexte.

Depuis les années 50, de nombreux travaux en analyse spatiale s'appuient sur des modèles de comportements alternatifs. La rationalité de l'acteur économique y est rarement remis en cause: le problème est toujours ramené à l'optimisation d'un choix sous contraintes, mais les méthodes et concepts aboutissant à la formation de ce choix diffèrent du modèle classique. Nous ne citerons que les principaux ayant influencé les modèles de localisation [BER00, TIM90]:



#### 1.2.5.1. *Le modèle canonique du processus de décision*

Le modèle canonique du processus de décision, se décompose en trois grandes étapes: identification du problème, élaboration des critères et des solutions possibles, évaluation des solutions et choix de l'action à entreprendre [LEM95]. Dans des situations complexes, cette dernière étape voit s'opposer deux types de raisonnement: l'algorithme conduisant à une solution unique optimale, et l'heuristique (ou algorithme approchant) aboutissant à une solution approchée mais satisfaisante du problème. Ce dernier concept peut par ailleurs être mis en relation avec la rationalité limitée de l'acteur mise en évidence par H.A. Simon (1957).

Le premier cas s'applique à des problèmes en général simples, quantifiables et le second à des réalités plus complexes ne se prêtant pas à la mesure précise.

Même si les difficultés de résolution sont parfois très importantes, ces deux raisonnements peuvent être tous deux décrits sous une forme informatique : la programmation linéaire pour le premier *versus* les méthodes de recherche opérationnelle (Tabu search, Simulated annealing, GRASP) pour le second.

On retrouve le premier raisonnement dans pratiquement tous les modèles théoriques anciens tandis que le second est apparu avec l'introduction de l'analyse multicritère.

#### 1.2.5.2. *La décision multicritère*

Dans le modèle néoclassique, le choix d'une localisation se base sur un seul critère : la maximisation de l'utilité. Or dans de nombreux cas, le comportement humain est le résultat de choix basés sur de nombreux critères parfois conflictuels que le décideur souhaite optimiser simultanément. Nous sommes alors en présence d'un problème multicritère que l'on retrouve également lorsque le décideur se compose d'un groupe de personnes ayant toutes des préférences différentes.

Plusieurs méthodes sont proposées pour résoudre de telles situations. Nous n'en citerons que deux ayant de nombreuses applications en analyse spatiale :

**La théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT)** suppose que chaque critère retenu permet de porter un jugement sur chaque action [LAA00]. A chaque action et chaque critère est donc associée une utilité partielle. Ces fonctions sont strictement croissantes et à valeurs réelles. Le modèle MAUT permet d'agréger les utilités partielles en une utilité globale. La fonction d'agrégation peut être additive (cas le plus fréquent) ou multiplicative. Cette théorie est reprise dans de nombreux modèles d'interaction spatiale notamment dans ceux de type MCI (Multiplicative Competitive Interaction) pour lesquels l'attractivité d'un point de vente (ou d'approvisionnement) est une combinaison multiplicative de facteurs tels que l'image du magasin, son apparence, les services offerts, l'acceptation du crédit ... [CHA99]

**La méthode « Analytic Hierarchy Process » (AHP)**, élaborée en 1977 par Thomas Saaty, permet quant à elle d'élaborer une décision en se basant sur une structure hiérarchique. Trois étapes sont requises : décomposition du problème suivant une hiérarchie d'éléments, détermination des poids relatifs de ces éléments et composition de ces poids en des indices globaux mesurant les décisions finales. Il n'y a pas de règles pour structurer les hiérarchies ni sur le nombre de niveaux. Il n'y a pas non plus de règles de composition des poids. Ainsi la méthode MAUT peut-elle être utilisée dans la dernière étape.

Ce principe est à la base du modèle d'interaction spatiale de Fotheringham qui suppose que toute décision de localisation s'effectue selon une hiérarchie de choix en plusieurs niveaux: On choisit d'abord la région de migration, puis la ville, puis le quartier etc,etc ... [FOT83]



### 1.2.5.3. La décision en environnement incertain

En 1944, Von Neumann et Morgenstern, à l'origine de la théorie des jeux, introduisent la notion d'utilité espérée. Rares sont les cas où l'acteur économique dispose de l'ensemble des données pour apprécier parfaitement la situation dans lequel il effectue un choix. Toute décision possède donc une part d'incertitude. Les préférences des acteurs suivent donc des distributions de probabilités. La fonction d'utilité telle que définie par les néoclassiques prend la forme d'une espérance mathématique d'utilité appelée encore « fonction d'utilité espérée » [YIL00].

Dans sa forme la plus simple cette dernière s'écrit alors :

$$U(p, X) = \sum_{i=1}^n p_i U(X_i)$$

où  $p$  est le vecteur des probabilités, et  $X$  est le vecteur des alternatives

Cette notion de choix incertain a ainsi été prise en compte dans le modèle LOGIT considéré dans de nombreux modèles d'interaction spatiale :

### 1.2.5.4. Le choix discret et le modèle LOGIT

(proba)

Dans un modèle de choix non ordonnés, l'individu  $i$  va comparer les différents niveaux d'utilité associés aux divers choix, puis opter pour celui qui maximise son utilité  $U_{ij}$  parmi les  $J$  choix. selon le modèle logit, cette utilité prend en compte un terme probabiliste : pour l'individu  $i$ , l'utilité du choix  $j$  est :

$$U_{ij} = \beta Z_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

*constantes individuelles*

Dans cette expression,  $Z_{ij}$  est un vecteur de caractéristiques individuelles,  $\beta$  est un vecteur de paramètres inconnus et  $\varepsilon_{ij}$  est un terme d'erreur aléatoire. Si l'individu  $i$  fait le choix  $j$ , on considérera que  $U_{ij}$  est l'utilité la plus grande parmi les  $J$  utilités considérées par l'individu  $i$ . De fait, la probabilité que l'individu  $i$  participe au secteur  $j$  correspond à la probabilité que l'utilité du secteur  $j$  soit supérieure à celle associée à tous les autres secteurs :

Les travaux du prix Nobel d'économie 2000 : D.L. Mc Fadden ont permis d'affiner les modèles LOGIT, d'en proposer de nouvelles formes (les modèles LOGIT multinomiaux) et de les appliquer à des problématiques de choix dans l'espace (choix d'un moyen de transport, choix d'un logement) [DOC00].

Dans un modèle LOGIT multinomial, la probabilité qu'un individu  $i$  choisisse une destination  $j$  est exprimée par :

$$\Pr ob(Y_i = j) = \frac{e^{\beta_j Z_i}}{\sum_k e^{\beta_k Z_i}}$$

Ce type de modèle permet également de calculer dans quelle mesure un attribut d'un lieu donné augmente la probabilité de choisir ce lieu (effets marginaux des variables explicatives).

### 1.2.5.5. La théorie des jeux

Cette théorie tente de formaliser les interactions individuelles basées sur les stratégies des acteurs. Elle suppose que toute décision est dépendante des décisions prises par les autres acteurs. Les joueurs cherchent à maximiser une « utilité espérée » en optant pour des stratégies de comportement dépendantes des décisions des autres joueurs.



Le jeu dépend donc de l'ensemble des stratégies possibles, des informations dont disposent les agents et du déroulement des décisions dans le temps [YIL00]. Le résultat du jeu peut être un équilibre unique, des équilibres multiples ou une absence d'équilibre. Lorsque aucun joueur n'a intérêt à dévier unilatéralement de sa stratégie quand les autres joueurs continuent à jouer, on parle alors d'équilibre de Nash. Contrairement à la démarche néoclassique cet équilibre n'est pas unique et d'autre part il ne correspond pas aux conditions de l'équilibre de Pareto.

La concurrence entre firmes peut être vue comme un jeu non-coopératif, chaque firme prenant sa décision de manière à obtenir la meilleure situation pour elle et sans chercher la coordination avec les autres. Cette théorie est à l'origine de nombre d'analyses en microéconomie et du développement des systèmes multi-agents. Ce type de modèle est encore rare pour l'analyse des aires de marché. Cependant des développements récents sur l'organisation spatiale des activités au sein d'un village malgache [BOU01] ou de l'activité de prélèvement et de commerce de bois autour de la ville de Niamey (Niger) [ANT00] donnent à penser qu'ils devraient prendre une place de plus en plus importante dans le domaine. ?

### 1.3. Le rôle de l'espace dans l'organisation des aires de marché

La prise en compte de l'espace bouleverse les lois économiques classiques et néo-classiques. La distance entre les acteurs, qu'elle soit calculée en mètre, en temps, en coût, quelle soit réelle ou perçue, introduit un effort (ou un coût de transport) et perturbe le modèle de concurrence pure et parfaite.

La représentation traditionnelle d'un espace homogène est incompatible avec les hypothèses d'un marché purement concurrentiel. Starret en 1978 le démontre dans un théorème que Fujita qualifie de « Théorème d'impossibilité spatiale » [dans FUJ 01] : « Si l'espace est homogène, si le transport réclame des ressources rares et si les préférences ne sont pas saturées localement, il n'existe pas d'équilibre concurrentiel pour lequel les dépenses de transport sont positives ». Autrement dit, le mécanisme concurrentiel ne permet pas d'expliquer l'hétérogénéité de l'espace économique et notamment les disparités de rentes foncières entre centres et périphéries.

L'espace conduit à renforcer le caractère monopolistique de la concurrence entre les organisations [PEE94, FUJ97] : Chaque unité commerciale attire ce qu'il est convenu d'appeler une clientèle captive et le consommateur ne visite qu'un nombre limité de marchés situés autour de lui. ]

Les approches spatiales traditionnelles des aires de marché se sont majoritairement attachées à décrire l'impact de la distance sur l'organisation spatiale de l'activité économique. D'une manière générale elles ne s'intéressent qu'aux conséquences des choix des acteurs sur la structure spatiale et prennent très peu en compte les effets de cette structure sur les décisions. Or la perception de l'espace et de sa structure par les individus jouent un rôle essentiel dans leur choix. *une explication*

Le rôle de l'espace ne se résume donc pas au simple obstacle de la distance : l'hétérogénéité spatiale de la population, la concentration des moyens de production, la structure des réseaux physiques ou sociaux, l'appartenance à une collectivité territoriale, les moyens de communication de l'information sont autant de caractéristiques de l'espace qui influencent les échanges.

Selon Fotheringham [FOT 91], le processus de choix de localisation nécessite une combinaison d'attributs spatiaux et d'attributs non spatiaux. Dans l'analyse des aires de marchés, ces attributs spatiaux peuvent être de deux types :



- **les paramètres de séparation spatiale** mesurant l'opacité de l'espace. Ils rendent compte du frein de la distance mais également des effets des discontinuités spatiales (frontières, ruptures de charge ...).
- **les paramètres d'organisation spatiale** mesurant la position relative des acteurs. Ils rendent compte des effets de concurrence spatiale.

### 1.3.1. La séparation spatiale

#### 1.3.1.1. L'effet atténuateur de la distance

Quel que soit le modèle et l'approche utilisée, de Von Thünen à Fotheringham, la distance joue un rôle atténuateur sur les échanges entre les lieux.

Trois grandes explications ont été proposées pour rendre compte du phénomène :

**Une explication économique** (Zipf 1949): le franchissement de la distance représente un coût ou un effort que les acteurs cherchent à minimiser. Plus la distance augmente, plus la demande diminue entraînant ainsi une baisse équivalente de l'offre.

**Une explication sociologique** (Stouffer en 1940 et 1960): il n'y a échange entre deux lieux que si une occasion intermédiaire de fourniture ne se présente pas. Pour Stouffer, l'effet d'atténuation de la distance représente l'effet grandissant d'occasions interposées entre l'origine et la destination. Plus on s'éloigne de l'origine, plus le nombre de destinations possibles augmente et plus l'interaction entre l'origine et une destination particulière diminue.

**Une explication thermodynamique** (Wilson en 1970) : Les unités géographiques en interaction constituent un système spatial dont les flux représentent l'énergie nécessaire à sa durabilité. Par analogie avec le deuxième principe de la thermodynamique, l'entropie du système tend vers son maximum et correspond à la distribution des flux la plus probable. Selon ce principe, le flux prend la forme d'un produit des masses et d'une fonction exponentielle négative de la distance.

$$m_1 \times m_2 \times \frac{1}{d}$$

#### 1.3.1.2. Les effets des discontinuités spatiales

La plupart des modèles théoriques supposent une variation continue des échanges en fonction de la distance. La raison principale en est une vision de l'espace comme un support homogène des déplacements. L'espace des échanges économiques ne peut se résumer à une simple étendue terrestre plus ou moins franchissable. Il est un espace géographique et en tant que tel, est, comme l'écrit R. Brunet « fondamentalement discontinu et anisotrope » [BRU 93].

Les accidents naturels : montagnes, fleuves, lacs, côtes sont autant d'éléments qui vont perturber les mouvements en les accélérant ou les freinant localement. Cependant actuellement, les partitions religieuses, ethniques, sociales, économiques et politiques de l'espace sont certainement les discontinuités qui ont le plus d'influence sur le déplacement des hommes et des biens. Le maillage de l'espace (entre les Etats ou à l'intérieur d'un Etat) génère des différences de réglementation et des choix d'équipement qui peuvent considérablement limiter les échanges. Gay [GAY95] cite par exemple le cas de deux Etats fédérés d'Australie (Le Queensland et la Nouvelle Galles du Sud) qui jusqu'en 1960 n'avaient toujours pas le même écartement de voies ferrées. Au passage de la « frontière », les marchandises devaient être transbordées d'un train à l'autre. « Ces opérations pénalisèrent les activités exportant leur production vers d'autres Etats fédérés et protégèrent les industries locales ».

Malgré le rôle essentiel des discontinuités, peu de modèles les prennent en compte. Von Thünen a étendu son modèle pour prendre en compte le rôle des voies de communication mais il n'ira pas jusqu'à la formalisation des discontinuités dans son calcul de rente.



En 1994, Cattán et Grasland (cités dans [PUM01]) s'intéressent aux effets de barrière sur les migrations humaines. Ils mettent en évidence que les lieux appartenant à la même entité territoriale ont des flux plus importants que ceux séparés par une frontière. Ils proposent alors un modèle combinant les effets de la distance et ceux de la limite. Ce dernier prend la forme classique d'un modèle gravitaire dans lequel est introduit un coefficient de perméabilité de la frontière.

### 1.3.2. Le rôle de l'organisation spatiale

#### 1.3.2.1. Les effets de l'agglomération spatiale

Les processus d'agglomération et ses effets à la fois sur la production, le choix du consommateur ou les structures de vente sont encore très discutés [FUJ01].

Dans le domaine de la production industrielle, le regroupement des firmes entraîne des économies externes marshalliennes dites « d'agglomération » pouvant se décomposer en deux grandes catégories [CAT94]:

- *Les économies de localisation* : il s'agit d'économies externes à la firme mais internes au domaine d'activité : partage d'une main-d'œuvre qualifiée, diffusion des innovations aisée
- ...
- *Les économies d'urbanisation* résultent de l'utilisation en commun de biens produit par la collectivité dont le prix n'est pas internalisé dans les coûts de revient : équipements publics, infrastructures, services ou encore image de marque du lieu.

Ces économies attendues représentent un des moteurs de la localisation industrielle dans le modèle de Weber comme dans ceux de la « Nouvelle Economie Géographique ».

La production agricole tend à se concentrer autour des zones de forte population. Les progrès techniques réalisés dans ce secteur permettent d'accroître la productivité de la terre. Ils accentuent donc les possibilités de concentration même lorsque la disponibilité en terre diminue [DAN01].

Dans le secteur commercial, Papageorgiou et Thisse [dans OTT02] décrivent les effets de l'agglomération comme suit : « *Les ménages sont attirés par les lieux où la densité d'entreprises est forte car les opportunités y sont grandes et repoussent les lieux où la densité de ménages est forte car il n'aiment pas la congestion. Les entreprises sont attirées par les lieux où la densité des consommateurs est forte car le volume d'affaires y est potentiellement fort et repoussent les lieux où la densité de vendeurs est forte à cause de la forte compétition* ».

Les mêmes auteurs montrent que lorsque les produits sont suffisamment différenciés et que les coûts de transport sont faibles, l'interaction entre l'offre et la demande aboutit à un équilibre spatial dans lequel vendeurs et consommateurs tendent à se rapprocher. On retrouve alors le principe de Hotelling.

Selon P. Volle [VOL99], la concentration des points de vente résulte de plusieurs principes théoriques : les commerces de produits similaires tendent à se rapprocher selon le **principe de la différenciation minimale de Hotelling** ; ceux de produits différents tendent à se **concentrer et se hiérarchiser selon la** théorie des places centrales de Christaller et Lösch afin d'atteindre une masse attractive critique (**loi de la gravitation**) autour de zones commerciales plutôt qu'autour de magasins isolés.

Cette théorie générale de la concentration présente néanmoins un certain nombre de limites et fait l'objet de nombreuses critiques portant essentiellement sur son caractère peu réaliste.



En premier lieu, le postulat du moindre effort sous-tendant toutes ces théories n'a été que faiblement vérifié empiriquement. Les travaux des derniers lauréats du prix Nobel d'économie (2002) sont là pour nous le rappeler. Les résultats obtenus par D. Kahneman démontrent notamment que les individus raisonnent le plus souvent de manière comparative et non absolue comme le voudrait la pure rationalité. Ainsi selon lui, le coût de déplacement est apprécié de manière relative par rapport au coût des produits concernés [ORL02].

En second lieu, la répartition hétérogène empirique de la population introduit des tailles différentes d'aires de marché et surtout des prix f.o.b. différents. La concurrence ne se joue donc plus sur les seuls coûts de transport mais sur les prix ce qui représente une force de dispersion [OTT02].

Enfin, une critique générale peut être faite à l'encontre de l'ensemble de ces théories. Elle porte sur l'absence de prise en compte des effets de la concentration des biens et services sur le choix du consommateur. Cette « rétroaction » de la structure géographique sur les comportements individuels ne fait l'objet que d'un très petit nombre de travaux.

Fotheringham en 1983 [FOT84], s'intéresse aux effets de l'agglomération des destinations et de leur compétition. Il propose alors un modèle d'interaction spatiale qui depuis a été repris dans de nombreuses études : le Modèle des Destinations Alternatives (« Competing Destination Model »). Dans sa première version, ce modèle tend à considérer l'agglomération des lieux de destination comme un facteur de résistance au même titre que la distance. Dans sa dernière version (1989), il laisse la possibilité au modélisateur de fixer un paramètre de centralité pouvant valoriser l'agglomération ou au contraire la défavoriser au profit de la dispersion.

#### 1.3.2.2. *La prise en compte des perceptions de l'espace dans les modèles de comportement des acteurs économiques*

Comme le rappelle A. Moles, « *L'espace n'est pas neutre pour celui qui s'y trouve* ». Chaque acteur, commerçant ou consommateur, producteur ou transporteur a sa propre représentation de l'espace. Il y discerne des formes, une topologie, s'y identifie, s'approprie des lieux, tisse des relations qui influencent son comportement. Pour le psychologue, la distance, la densité, la proximité, le maillage, la topologie des lieux sont des notions propres aux individus [MOL95].

A l'heure actuelle, très peu d'outils théoriques permettent d'introduire la perception de l'espace dans les modèles de comportements des acteurs économiques.

A notre connaissance, les recherches dans ce domaine sont essentiellement menées avec des systèmes de simulation multi-agents. Ces outils permettent de simuler les actions de différents agents positionnés dans l'espace et d'observer les propriétés du système résultant.

« *On appelle agent une entité physique ou virtuelle a) qui est capable d'agir dans un environnement b) qui peut communiquer directement avec d'autres agents c) qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction) d) qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement e) qui ne dispose que d'une représentation partielle de son environnement ...* » d'après Ferber J., 1995 dans [ANT01].

On peut notamment citer les travaux des chercheurs français autour de la plate-forme CORMAS<sup>9</sup> : [BON01] ou [GAL02]

---

<sup>9</sup> CORMAS est un environnement de programmation permettant la construction de modèles de simulation multi-agents.



## 1.4. Quelques grands modèles d'analyse des aires de marché

### 1.4.1. Les modèles **normatifs** d'organisation spatiale des activités

La théorie classique de la localisation des activités économiques repose sur les quatre grands modèles résumés dans le Tableau 1 ci-dessous.

Ils ont tous pour principales caractéristiques :

- d'être d'une certaine manière des modèles micro-économiques.
- de ne pas considérer le comportement réel des acteurs mais de les assimiler à des Homo Economicus virtuels et rationnels
- d'être normatifs dans le sens où leur objectif est d'idéaliser l'espace en fonction des hypothèses faites.
- de ne représenter que des équilibres partiels dans la mesure où ils ne prennent en compte qu'un nombre très limité de paramètres.
- d'être statiques (le temps n'est pas un paramètre explicite).

Ils ont également en commun de supposer l'espace isotrope de manière à minimiser les effets de l'hétérogénéité des conditions de production et de consommation.

Nous ne nous présenterons ici que deux des quatre modèles :

- (( - **Le modèle de Von Thünen** car il demeure le modèle de référence pour les relations entre centre urbain et périphérie rurale.
- **Le modèle de Launhard-Weber** car il est sans doute le plus riche des quatre. Il est en effet un des rares à prendre en compte une certaine hétérogénéité spatiale - celle de la main-d'œuvre - et les impacts de l'organisation spatiale au travers des économies d'agglomération.

Types de problèmes	Occupation agricole des sols	Localisation industrielle et orientations de la production	Places centrales et aires de marché	Compétition spatiale et partage du marché
Auteurs	Von Thünen Alonso	Weber Moses	Christaller Lösch	Hotelling
Dates	1826	1909	1933-1944	1929
Objectifs	Occupation agricole optimale des sols en fonction des coûts de transport	Localisation de sites industriels minimisant les coûts de transport des intrants et extrants	Aires de marché optimales Formation des centres urbains	Localisation optimale face à un problème de compétition spatiale.
Hypothèses	Un marché central avec des prix donnés Une production indépendante de la localisation Des coûts de transport <u>linéaires</u>	Des fonctions de production linéaires (pas de <u>substitution</u> ou d'économie d'échelle) <i>rdto échelle b</i>	Une distribution uniforme des ménages Une demande homogène des ménages Des coûts de transport linéaires et additifs pour tous les produits	Une répartition spatiale homogène de la demande Des coûts de production indépendants de la localisation Une compétition entre deux concurrents
Organisation spatiale de L'offre La demande	Dispersée - Localisée -	Localisée Localisée	Localisée Dispersée	Localisée Dispersée

Tableau 1 : Caractéristiques générales des 4 grands modèles de l'économie spatiale classique (d'après [KRU02])

*site à voir → demande chaque produit = intrants  
quelques autres.*

*Nor*



### 1.4.2. Le modèle de Von Thünen

#### 1.4.2.1. Le problème

Johann-Heinrich Von Thünen publie en 1826 « l'Etat isolé », un ouvrage de référence dans lequel il développe un des premiers modèles décrivant la production agricole autour d'un centre urbain. Il tente de répondre à la question principale:

*Quelles sont en un endroit donné, les productions permettant de tirer le plus grand profit ?*

Pour cela, von Thünen développe une théorie à partir d'un raisonnement déductif. Il part d'hypothèses abstraites, du modèle conceptuel d'un « Etat isolé » et en tire des propositions générales.

#### 1.4.2.2. Les hypothèses

Le modèle est basé sur des hypothèses très simplificatrices :

- Le marché est localisé dans une ville unique entourée par une plaine homogène, sans rivière ni réseau de transport, bornée par un désert aride l'isolant entièrement du reste du monde. « Cette ville doit fournir aux campagnes tous les produits manufacturés dont elle ont besoin. En revanche, elle est obligée de tirer de ces mêmes campagnes tous ses produits alimentaires, et toutes les matières de première nécessité [...] Cette ville étant la seule et unique au milieu de la plaine supposée, s'appellera désormais simplement : La ville de l'Etat isolé » (Von Thünen, 1826 dans [BAU96]).
- Les agriculteurs agissent rationnellement en maximisant leurs profits.
- Les coûts de production sont les mêmes partout, stables dans le temps et indépendants de la quantité produite.
- Les rendements sont les mêmes partout.

Les seuls critères de choix de l'agriculteur sont donc le type de culture et la distance à la ville.

#### 1.4.2.3. La solution

Dans ces conditions, à chaque système de culture est associé un bénéfice ne dépendant que de la localisation appelé « rente de localisation ». A chaque endroit donné, l'agriculteur favorisera la production lui apportant le plus grand profit. Les cultures s'organisent donc autour de la ville en anneaux concentriques selon un gradient de rente décroissant. On trouvera ainsi proches du marché, les produits très rentables ou difficiles à transporter (maraîchage ou bois) et plus on s'éloigne plus on produira des denrées dont la valeur pondérale est forte ou faciles à transporter (céréales, laine)

La Figure 4 illustre en détail le principe de résolution du problème.

#### 1.4.2.4. Discussion et limites

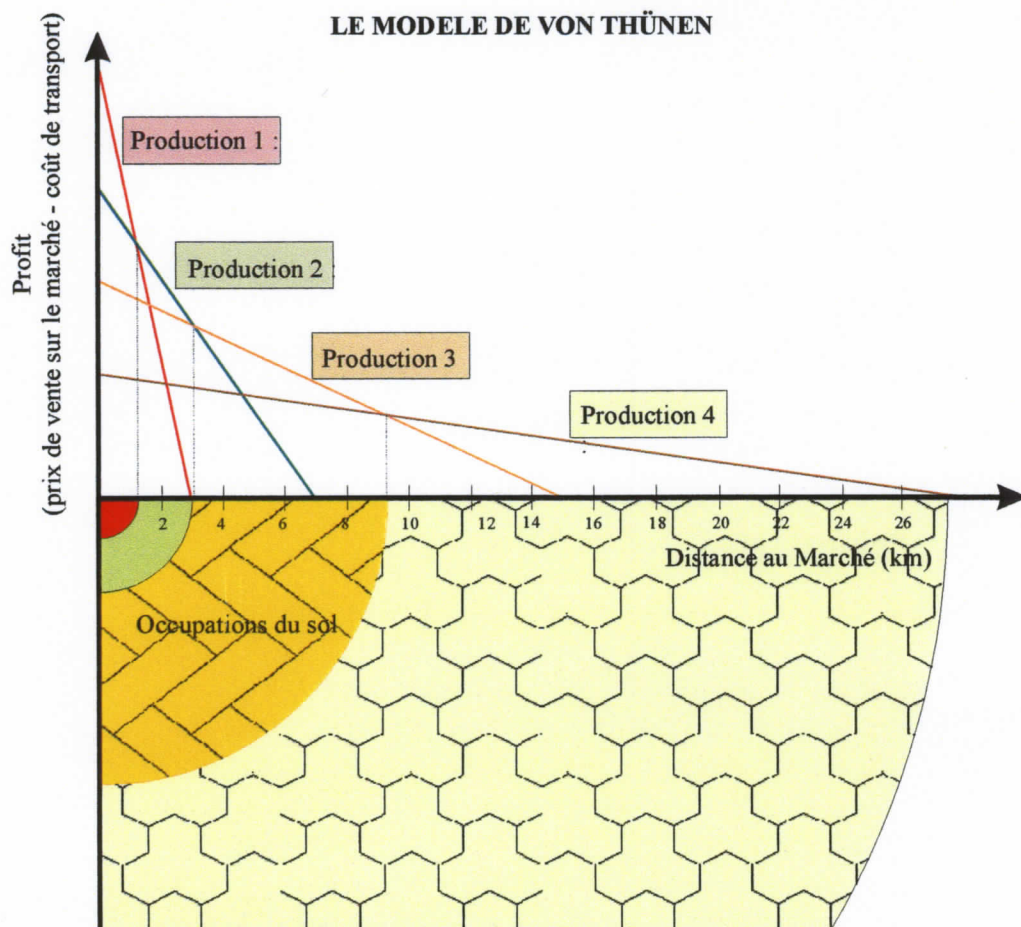
Des paradigmes de l'économie spatiale, celui de von Thünen est le plus ancien. Il est sans doute également un des plus vivants actuellement. La Nouvelle Economie Urbaine [FUJ01] a notamment transposé les hypothèses de base de von Thünen à l'espace urbain. La ville centrale est devenue le centre ville et la plaine, l'espace occupé par les activités urbaines.

Le modèle de von Thünen reste la référence pour tout problème de gradient centre périphérie [PUM01]

Cependant le modèle admet de nombreuses limites. D'une part, il n'apporte pas de réponse à la question de la présence de la ville unique et d'autre part il ne s'intéresse pas au comportement de l'acheteur. Comme la plupart des modèles de cette époque, il privilégie l'aspect production au détriment du choix du consommateur.

Rente de localisation pas prise en compte

rente localisation



Le profit de l'agriculteur dépend du prix de vente de sa production sur le marché, de son coût de transport jusqu'au marché et de son coût de production.

$$\text{Profit} = \text{Prix de vente sur le marché} - \text{coût de transport jusqu'au marché} - \text{coût de production}$$

Ce profit dépend donc de la localisation de la production. A chaque culture et à chaque lieu est donc associé ce que l'on appellera "une rente de localisation".

Dans le modèle de Von Thünen, le coût de production est identique partout. La rente ne dépend donc que de la distance au marché et chaque culture se caractérise par une courbe de profit décroissante avec la distance: plus on s'éloigne du marché, plus le coût de transport augmente et plus le profit de l'agriculteur diminue. Les coûts de transports sont considérés comme linéaires et les profits sont donc des fonctions linéaires de la distance (cf haut du graphique ci dessus). En fonction du lieu où il se trouve-c'est à dire de la distance au marché-l'agriculteur choisira toujours la culture qui lui procure le maximum de profit. Le tracé, sur un même graphique, des rentes propres à chacune des cultures permet de mettre en évidence les cultures promettant le plus grand profit en fonction de la distance au marché : Entre 3 km et 9 km, la production 3 est la plus rentable tandis qu'entre 1 km et 3 km, les agriculteurs retiendront la production 2. Les agriculteurs ayant des comportements économiquement rationnels, ils organisent l'occupation des sols sous forme d'anneaux concentriques autour du marché, chacun se spécialisant dans la production offrant le plus grand profit (cf bas du graphique ci dessus).

**Figure 4 : Organisation spatiale de la production agricole selon le modèle de von Thünen**



### 1.4.3. Le modèle de Launhardt-Weber

#### 1.4.3.1. Objectifs

Launhardt en 1882 et Weber en 1909 posent les bases de la première théorie générale de la localisation industrielle.

Tout comme Von Thünen près de 80 ans auparavant, Weber reprend une méthode hypothético-déductive pour proposer un modèle simple comportant peu de paramètres et explicitant la localisation des entreprises. Le facteur principal qu'il retient est le coût de transport.

#### 1.4.3.2. Le problème

+ éco ch. Nançes

Weber tente de répondre à la question suivante : *Où implanter la fabrication d'un produit donné de manière à ce que la localisation retenue soit la plus avantageuse ?*

Le choix d'un site d'implantation pour une entreprise est un problème complexe. Sa formalisation nécessite de répondre simultanément à 6 grands types de questions [PEE96] :

1. Le type de biens à produire et la variété de ces biens
2. L'organisation de la production : un ou plusieurs établissements.
3. La représentation mathématique de l'espace : plan, ensemble fini de lieux, graphe (réseau)
4. Les quantités à produire et leur écoulement sur un ou plusieurs marchés
5. Les critères de décision : critère unique de maximisation du profit ou critères multiples.
6. La prise en compte du risque du rôle du temps : choix opportuniste fait à un instant T ou pour toute la durée présumée de la vie de l'entreprise

#### 1.4.3.3. Les hypothèses

Le modèle de Weber se place dans un cadre d'hypothèse très simplificateur par rapport à la complexité réelle du problème :

- L'entreprise ne fabrique qu'un seul produit qu'elle vend sur un seul marché. Le prix du produit est fixe et donné quelque soit le marché : La demande ne joue donc pas.
- L'output n'est fabriqué que dans un seul établissement en ayant recours à deux inputs (deux sources de matière première par exemple) selon une fonction de production à coefficients constants. La localisation est donc indépendante du niveau de production.
- La localisation des deux inputs est donnée.
- L'espace est isotrope et continu. Le coût de transport est linéaire, donc directement proportionnel à la distance et au poids du produit.

Le critère de décision de l'entrepreneur est unique : la minimisation du coût total de transport  $Ct(P)$ .

La solution recherchée s'écrit donc :  $\text{Min}[Ct(P)]$

$$\text{Avec } Ct(P) = \sum_{i=1}^3 R_i M_i D_i$$

$R_i$  = coût de transport unitaire du bien  $i$  (input ou output)

$M_i$  = Poids du bien  $i$

$D_i$  = distance entre source ou marché  $i$  et l'entreprise.

#### 1.4.3.4. Résolution du problème

Le problème ainsi posé n'a pas de solution analytique. L'optimum, encore appelé « point minimum de transport » ne peut donc être trouvé par programmation linéaire. Les méthodes de résolution proposées sont donc géométriques, analogiques (équilibre de forces physiques)

ou font appel à des algorithmes de recherche opérationnelle (Monte carlo, Tabu search, Simulated Annealing par exemple).

La fiche ci-jointe (Figure 5) illustre le principe de résolution géométrique du problème.

#### 1.4.3.5. Les extensions du modèle de base

##### **Le coût du travail**

Weber introduit le coût de la main-d'œuvre comme facteur de déviation du modèle. L'entreprise peut choisir de quitter le point minimum de transport pour se déplacer vers des sites où une main-d'œuvre moins chère lui permettrait de faire des économies.

La méthode de résolution proposée par Weber est graphique. Il utilise le concept d'isodapane critique. L'isodapane est une courbe regroupant l'ensemble des lieux pour lesquels la somme des coûts de transport est identique (cf Figure 5 ci-jointe). L'isodapane minimum, solution du problème de base se réduit à un simple point. L'isodapane critique est celle qui représente le coût minimum de transport augmenté de l'économie possible de main-d'œuvre. Elle délimite une zone à l'intérieur de laquelle les économies faites sont plus importantes que le surcoût de transport. L'entreprise a tout intérêt à migrer vers ces zones.

##### **Les économies d'agglomération**

Pour Weber, une économie d'agglomération est un gain réalisé du fait que la production se concentre en un seul lieu. Elle se réalise en général à partir d'un niveau minimum de production. La technique de l'isodapane critique est également utilisée. Elle représente le coût minimum de transport augmenté de l'économie possible d'agglomération. Pour savoir si différents établissements ont intérêt à se regrouper on trace les isodapanes critiques de chacun d'eux et on analyse leur intersection. Le regroupement est conseillé si l'intersection est non vide et si la production totale des établissements est au moins égale au seuil d'apparition de l'économie.

#### 1.4.3.6. Discussion et prolongements

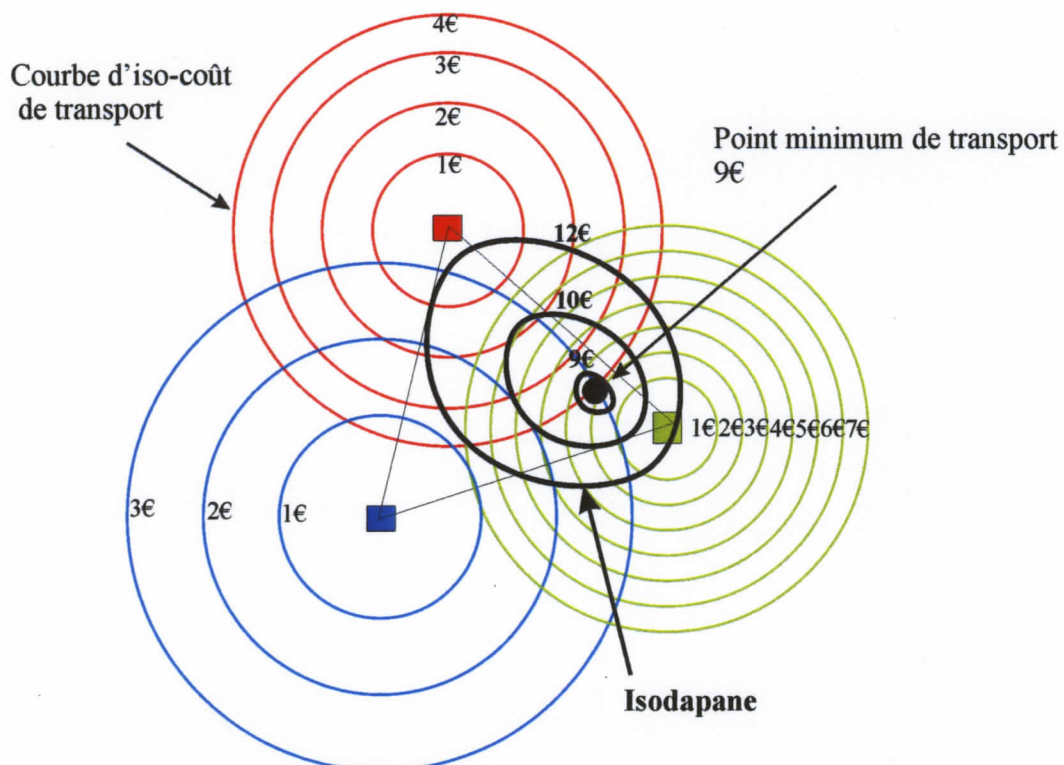
Le modèle de Weber se présente sous une forme de base très simple. Tout comme celui de Von Thünen, il ne s'intéresse qu'à l'aspect production. Cependant ses extensions et ses ouvertures à des facteurs de localisation autres que le simple coût de transport en font sans doute un des plus riches des modèles normatifs. De par cette flexibilité, il continue de faire l'objet de développements récents portant sur la prise en compte de l'espace, sur les critères de décision de l'entreprise, sur l'organisation spatiale de la production ou encore sur les méthodes de résolution.

Sur ce dernier point, les capacités de combinaison spatiale des outils actuels tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) permettent de s'affranchir des difficultés de résolution analytique en offrant un support d'automatisation de la solution graphique proposée par Weber.

De plus, D. Peeters [PEE94] fait remarquer qu'en remplaçant notamment le poids des produits à transporter par le potentiel d'attraction des sites en présence, le problème devient une question d'interaction spatiale multipolaire dans laquelle la distance reste un facteur synthétique.

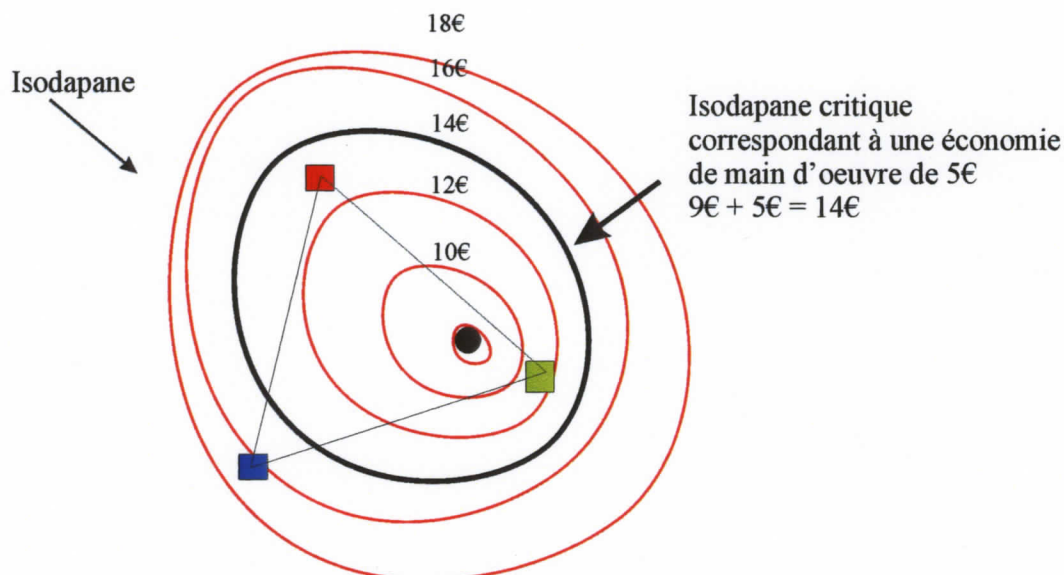


## LE MODELE DE WEBER



Méthode graphique de recherche du point de transport minimum :

- A) tracé des courbes d'égal coût de transport (cercles dans un espace continu isotrope)
- B) Construction des isodapanes = lignes où les coûts totaux de transport sont identiques
- C) l'isodapane relative au coût total de transport le plus faible se réduit à un point : le point minimum de transport.



Les effets de la localisation de la main d'œuvre sur la localisation optimale des industries :  
L'isodapane critique est celle qui représente le coût minimum de transport augmenté de l'économie possible de main d'œuvre. Elle délimite une zone à l'intérieur de laquelle les économies faites sur la main d'œuvre sont plus importantes que le surcoût de transport.

Figure 5 : Localisation optimale d'un site industriel selon le modèle de Weber

#### 1.4.4. Modèles d'interaction spatiale appliquée à la délimitation des aires de marché

L'approche de la délimitation des aires de marché par l'interaction spatiale a donné lieu à un grand nombre de modèles.

Comme nous l'avons rappelé dans le chapitre précédent, ces modèles se rattachent à deux grandes conceptions différentes de l'interaction spatiale :

- l'approche « déterministe », se basant une analogie avec les lois de la gravitation.
- l'approche « comportementale », se basant sur la théorie de l'utilité et sur différents modèles de choix.

Nous ne présenterons ici que trois modèles illustrant ces deux courants et leurs évolutions.

#### 1.4.5. Le modèle d'aire de marché de Reilly (1929)

##### 1.4.5.1. Le problème

Le problème principal que se pose Reilly est celui du pouvoir d'attraction d'une ville sur son espace environnant.

Il peut se décomposer en deux grandes questions [HAY84] :

*Comment se répartissent les consommateurs entre les différents centres urbains ?*

*Quelle est la limite de l'aire de marché d'un centre urbain ?*

##### 1.4.5.2. Les hypothèses

On retrouve chez Reilly, les mêmes hypothèses que celles retenues dans la plupart des modèles de cette époque, à savoir :

- La localisation des villes et leur population sont connues ;
- L'espace autour des villes est **isotrope**.

Se basant sur une analogie avec le modèle gravitationnel de Newton, Reilly postule « qu'une ville attire la clientèle d'une autre ville située à proximité, en proportion directe de sa population et en proportion inverse du carré de la distance les séparant » [HAY83].

##### 1.4.5.3. Le modèle

La formulation du modèle de Reilly est :

$$A_{ij} = \frac{P_i}{d_{ij}^2}$$

avec  $A_{ij}$  = attraction de la ville  $i$  sur la clientèle de la ville  $j$   
 $P_i$  = Population de la ville  $i$   
 $d_{ij}$  = distance entre les deux villes  $i$  et  $j$



Ce modèle très simple permet également de connaître la limite entre les aires de marché des deux villes. Cette limite se matérialise par un point d'équilibre au niveau duquel l'attraction de i et de j sont égales :  $A_{ij} = A_{ji}$ . Ce point est situé à une distance  $D_i$  de i telle que :

$$D_i = \frac{d_{ij}}{1 + \sqrt{\frac{P_j}{P_i}}}$$

*distance*  
*populo*

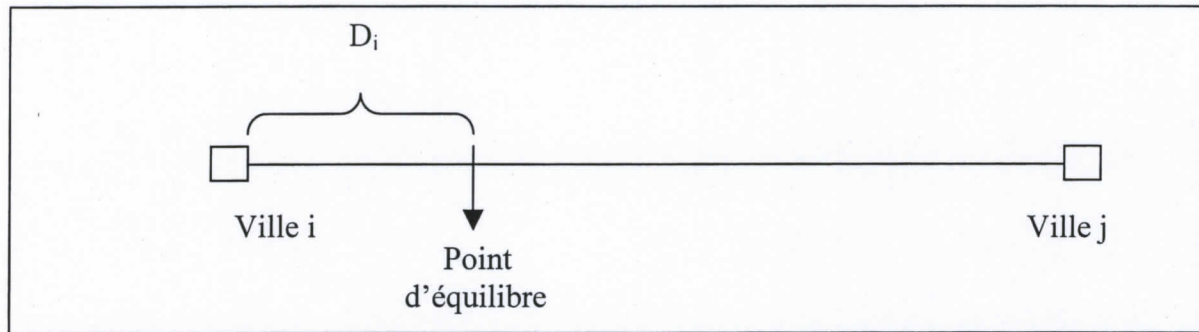


Figure 6 : Position de la limite en entre deux aires de marché selon le modèle de Reilly

#### 1.4.5.4. Discussion

Le concept de modèle gravitaire repose sur le rapport entre deux composantes : l'attraction de la destination, représentée ici par la population et la résistance au déplacement modélisée par une fonction puissance négative de la distance.

Ce type de modèle est encore très utilisé de nos jours essentiellement en géomarketing interurbain pour l'implantation d'établissements de commerce et de services [PUM01].

Cependant, de multiples variantes ont été proposées depuis 1929. Elles se distinguent par le mode de calcul de ces deux composantes.

Ainsi pour la résistance, selon l'objet d'analyse la distance peut être remplacée par le coût du transport ou la durée du déplacement. La fonction puissance peut également faire place à une exponentielle.

Cependant c'est sans doute sur l'attraction que les évolutions sont les plus importantes. La population fait place au nombre d'emplois, au chiffre d'affaire cumulé des magasins, au revenu des ménages, la densité de commerces faisant ainsi de chaque modèle un cas particulier [BRO92, PUM01].

#### 1.4.6. Le modèle de Huff et les modèles d'attraction multicritères

##### 1.4.6.1. Problème

Historiquement le modèle de Huff s'inscrit dans la continuité des travaux de Reilly sur la délimitation des aires de marchés. Cependant face au caractère déterministe du modèle de Reilly, Huff oppose une vision probabiliste de l'attraction. Il replace le consommateur au centre de l'analyse et dans une situation de choix et analyse son comportement

La question devient donc : *Quelle est la probabilité  $P_{ij}$  pour qu'un consommateur  $i$  fréquente le centre commercial  $j$  ?*

##### 1.4.6.2. Hypothèses

Huff part de l'hypothèse que lorsqu'un consommateur doit choisir entre plusieurs alternatives de magasins, il va chercher à en visiter plusieurs pour faire son choix [CHA00]. Chaque magasin représente une opportunité et une utilité pour le consommateur. Huff suit le premier axiome de Luce dans sa théorie des choix : la probabilité de choisir une destination est égale à l'utilité de cette destination divisée par la somme totale des utilités de destination.

Pour Huff, l'utilité d'un magasin peut s'évaluer selon le modèle de Reilly : L'attraction est donnée par la taille du magasin et la résistance par une fonction puissance négative de la distance.

##### 1.4.6.3. Résolution du problème

Le modèle de Huff prend la forme :

$$P_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_{k=1}^J U_{ik}} = \frac{\frac{S_j}{d_{ij}^\beta}}{\sum_{j=1}^J \frac{S_j}{d_{ij}^\beta}}$$

*modèle de Reilly utilisé pour l'analyse*  
 *$\frac{S_j}{d_{ij}^\beta}$  - taille centre distance*

avec :

$P_{ij}$  = probabilité qu'un consommateur localisé en  $i$  se rende dans le centre commercial localisé en  $j$  ;  $S_j$  = taille du centre  $j$  et  $D_{ij}$  = distance entre  $i$  et  $j$

##### 1.4.6.4. Discussion et prolongements

Tout comme le modèle de Reilly, le modèle de Huff constitue un tournant et une référence dans l'approche des aires de marché. Il ajoute une dimension probabiliste au choix des consommateurs mais surtout, il offre la possibilité d'introduire des variables additionnelles dans la fonction d'utilité. Il est ainsi possible de prendre en compte l'image du point de vente ou les services offerts.

Il est à l'origine des modèles multiplicatifs de compétition spatiale (MCI)

$$P_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_{k=1}^J U_{ik}} = \frac{\prod_{k=1}^q X_{kij}^{\beta_k}}{\sum_{j=1}^J \prod_{k=1}^q X_{kij}^{\beta_k}}$$

avec  $X_{kij}$  : valeur de la  $K^{ième}$  variable caractéristique du point de vente  $j$  pour les consommateurs localisés en  $i$

$\beta_k$  : paramètre de sensibilité à estimer par la méthode des moindres carrés par ex.



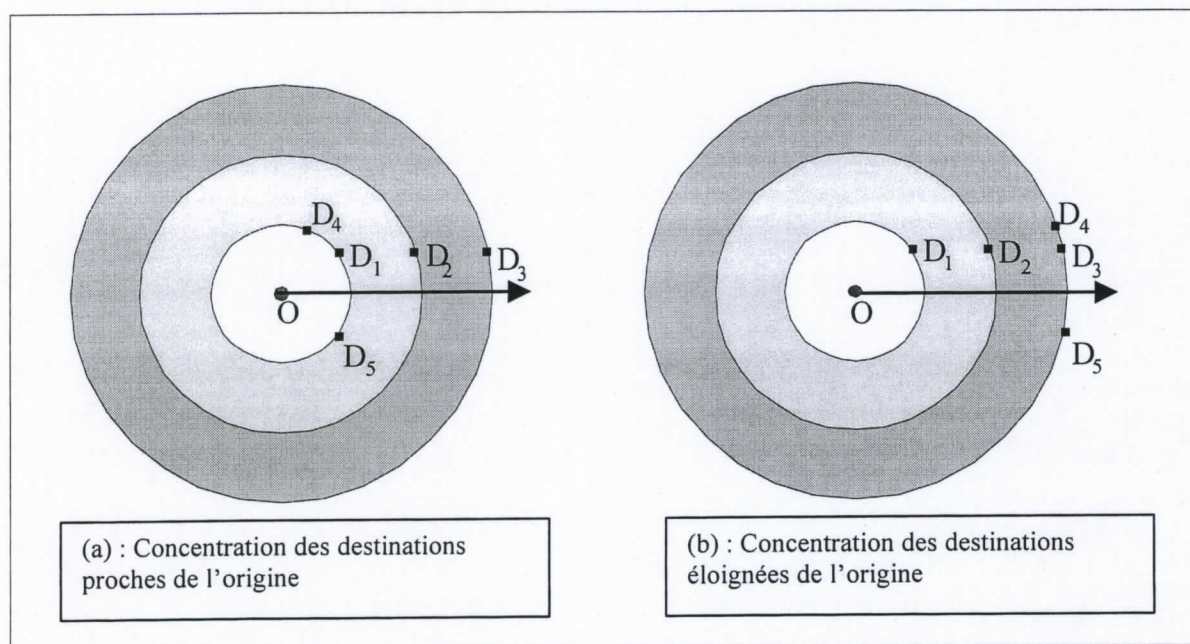
### 1.4.7. Le modèle d'interaction spatiale de Fotheringham

$\eta_i$

#### 1.4.7.1. Objectifs

Fotheringham part du constat que les modèles d'interaction spatiale de type gravitaire ne prennent pas en compte l'organisation spatiale des lieux en présence. Pourtant intuitivement, il semble évident que cela joue un rôle important.

Il s'appuie pour cela sur une démonstration simple des limites des modèles classiques devant des configurations spatiales différentes (Figure 7) :



oui

Figure 7: Mise en évidence de l'indépendance du modèle gravitaire aux formes d'organisations spatiales des destinations (d'après Fotheringham)

Dans un modèle gravitaire classique, le ratio d'interaction entre une origine  $i$  et deux destinations de masse identique  $j, k$  :  $(A_{ij}/A_{ik})$  ne dépend que de la distance. Dans les deux configurations de l'espace (a) et (b) de la figure, le rapport  $A_{i1}/A_{i3}$  devrait donc être identique.

Intuitivement, on se doute qu'il n'en n'est rien et que dans le cas (b) l'interaction avec la destination  $D_3$  est plus faible que dans le cas (a).

#### 1.4.7.2. Le problème

Pour Fotheringham, le problème est double :

Considérons un ensemble d'individus situé dans un centre d'origine et désirant interagir avec d'autres centres mais dont les destinations sont encore inconnues. *Comment vont-ils effectuer leur choix et comment l'organisation spatiale des destinations influence-t-elle le choix ?*

#### 1.4.7.3. Les hypothèses

Fotheringham tout comme Huff, se place du point de vue du consommateur. Il suppose que :

- son choix est motivé par la comparaison de l'utilité espérée d'une destination par rapport à l'ensemble des utilités des autres destinations
- devant un grand nombre d'alternatives, le consommateur hiérarchise son processus de choix : il sélectionne dans un premier temps une « macrodestination » : une

région, une ville, puis dans un deuxième temps, au sein de cet ensemble, il sélectionne une « microdestination » : une ville, un quartier.

Dans la Figure 7, à chaque « anneau » de distance D correspond une macrodestination et un ensemble de microdestinations. Le volume d'interactions potentielles arrivant à une microdestination dépend du nombre de microdestinations présentes à la même distance. Fotheringham postule alors que « *plus une destination est accessible par rapport à ses concurrentes, moins elle a de chances d'être choisie* » [FOT83].

#### 1.4.7.4. Résolution du problème

Fotheringham ne remet pas en cause la formulation générale des modèles gravitaires, en revanche il introduit un paramètre reflétant la compétition entre les destinations. Cette variable est égale à l'accessibilité de la destination par rapport à l'ensemble des autres destinations.

En supposant le flux total connu (pas de contrainte sur les origines et les destinations), le modèle, encore appelé Modèle des Destinations Alternatives (Competing Destinations Model) s'écrit

$$I_{ij} = k e_i m_j A_{ij}^{\delta_i} d_{ij}^{\beta_i}$$

+ Correction  $A = \frac{\delta}{\text{symphonie?}}$

avec

$$k = \sum_i \sum_j I_{ij} * \left( \sum_i \sum_j e_i m_j A_{ij}^{\delta_i} d_{ij}^{\beta_i} \right)^{-1}$$

des flux

$A_{ij}^{\delta_i}$  représente l'accessibilité de la destination j perçue par les résidents de l'origine i.  $\delta_i$  est un coefficient négatif permettant le respect de l'hypothèse : Plus l'accessibilité d'une destination augmente, plus l'interaction avec cette destination diminue.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^w m_k d_{jk}^{\beta_i}$$

$e_i$  est l'émissivité (la masse) de l'origine i

$m_j$  est l'attractivité (la masse) de la destination j

$d_{ij}$  est la distance (ou le coût de déplacement) entre i et j

#### 1.4.7.5. Discussion et prolongements

Le modèle de Fotheringham est un des rares modèles d'interaction à prendre en compte la configuration spatiale des lieux. Dans sa première formulation, son auteur considère que l'agglomération des lieux de destination est un facteur de résistance au même titre que la distance. Dans les deux configurations A et B de la Figure 8 le modèle originel mène à la conclusion suivante : à une distance donnée (ici  $D = 3$ ), plus les destinations sont agglomérées plus leur interaction individuelle avec le centre est faible et plus le total de leurs interactions avec ce même centre diminue.

Ce résultat est en contradiction avec certaines théories économiques du rôle valorisant de la concentration, notamment celle de Hotelling (1929).



Pour pallier cet effet, d'autres formulations ont été développées par le même auteur en 1989 [dans CHA00]. Fotheringham introduit dans son modèle un paramètre  $\theta$  de sensibilité tel que :

- Si  $\theta > 0$  les points de vente ont intérêt à rester éloignés les uns des autres ;
- Si  $\theta < 0$  l'attraction est renforcée par l'agglomération ;
- Si  $\theta = 0$  l'organisation spatiale des points de vente n'a pas d'influence sur l'attraction.

$$I_{ij} = \frac{C_j^\theta \exp(V_{ij})}{\sum_{j=1}^J C_j^\theta \exp(V_{ij})}$$

avec  $\theta$  : paramètre de sensibilité

$C_j$  : paramètre de centralité.  $C_j$  peut être défini par  $C_j = \frac{\sum_{k \neq j} d_{kj}}{J-1}$

$V_{ij}$  : Utilité de la destination  $j$  perçue par un individu localisé en  $i$

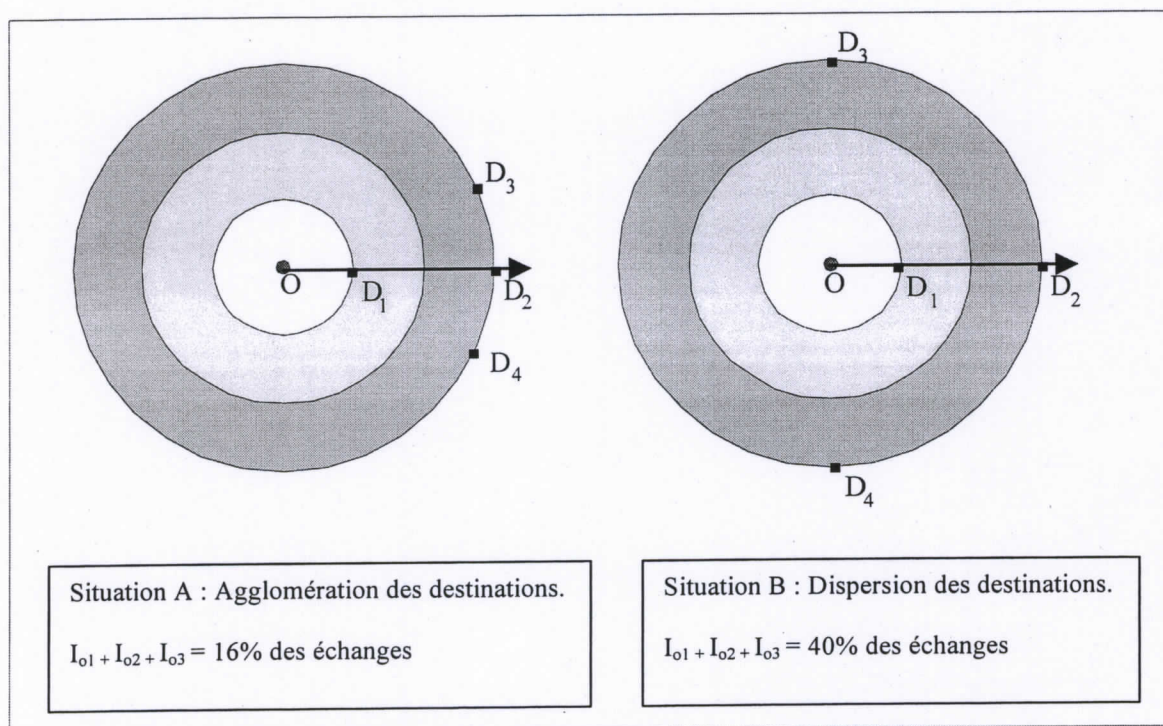


Figure 8 : Effets négatifs de l'agglomération des destinations sur les interactions individuelles avec un centre unique selon le modèle original de Fotheringham (1983)

### 1.5. Conclusions : de la complexité du choix dans l'espace

Tous les modèles de localisation des activités et de détermination des aires de marché se placent dans une dialectique entre offre, demande et espace. Cependant les trois branches de ce système tripolaire présentent de forts déséquilibres. Les démarches développées ne privilégient en général qu'un des pôles : la demande dans la plupart des approches de type gravitaire et la production dans les approches normatives de type Von Thünen ou Weber.

Comme le souligne D. Peeters [PEE94], consommateur et entrepreneur ont tous deux un « pouvoir de marché ». Ils peuvent tous deux modifier l'aire de marché, le premier par son attitude envers le point de vente, le second au travers d'une politique spatiale des prix en imputant plus ou moins complètement les coûts de transport ou par des opérations de promotion [VOL99].

La prise en compte de l'impact de l'espace simultanément sur la production et sur la demande reste un des enjeux de l'analyse spatiale.

Ponsard en 1988 [dans PON88] fait remarquer que *“l'espace n'est pas économiquement neutre, il change tout”*. On pourrait également rajouter que la prise en compte de l'espace rend le choix des acteurs complexe. Fotheringham [FOT 91] en retient les difficultés suivantes : i) il est difficile de constituer des groupes d'alternatives sur la base de leur localisation géographique car l'espace est continu et non pas discret, ii) la transitivité des choix spatiaux n'est pas garantie et iii) les modèles ne sont pas géographiquement stationnaires car la perception des alternatives varie selon la localisation.

Ces difficultés ont donc non seulement amené la majorité des auteurs à ne s'intéresser qu'à un des pôles du système mais également à simplifier l'espace et les objets géographiques qu'il contient.

Ainsi, l'hétérogénéité des conditions de production et de consommation est-elle la plupart du temps gommée au profit d'un environnement isotrope sans grande rétroaction sur les choix de localisation.

Les économies modélisées sont ponctiformes : les objets géographiques que sont les unités de production, les marchés, les centres urbains sont représentés par des points. Cette agrégation spatiale de la demande comme de l'offre conduit à fausser les mesures de distance [PEE94], à sous-estimer le coût réel de transport et à négliger la perception de l'espace par les acteurs. C'est d'autant plus vrai lorsque le mode de production consomme de l'espace comme c'est le cas dans le domaine agricole. Selon Boussard (cité dans [DAN01]), *« l'utilisation de la terre dans la fonction de production induit des coûts de déplacement internes à l'exploitation. Ces coûts de déplacement sont croissants avec la dimension structurelle de l'exploitation »*.

Face aux limites avérées des approches traditionnelles renforcées par une diminution de l'importance du coût du transport dans les échanges économiques, les recherches actuelles s'orientent vers une meilleure modélisation des choix des acteurs face à différentes alternatives spatialisées et tentent ainsi d'intégrer les comportements individuels.

Dans ce cadre, quatre questions essentielles se posent :

1. La prise en compte simultanée de l'offre et de la demande ;
2. L'intégration de l'hétérogénéité spatiale ;
3. La prise en compte de la dimension spatiale des entités géographiques en présence ;
4. La formation des ensembles de choix et les processus de combinaison des attributs spatiaux (distance, organisation) et non spatiaux.



Si d'une manière générale, les approches actuelles tendent vers un plus grand réalisme, elles ne remettent pas en cause les outils théoriques traditionnels.

Les modèles d'interaction spatiale sont encore très largement utilisés et raffinés. Ils s'attachent essentiellement à améliorer le point 4 cité ci-avant en intégrant dans les multiples composantes de l'attraction des notions comme l'image, le prix, l'assortiment et en travaillant sur la séparation spatiale. P. Volle par exemple propose de substituer à la distance le concept de **fidélité**. [VOL99]  $\Rightarrow$  AI: *Norm*

Le renouveau de l'économie géographique (la nouvelle économie géographique) initié par P. Krugman au début des années 1990, ne remet pas en cause la notion d'équilibre spatial mais tente d'adapter les hypothèses du concept aux configurations observées [FUJ97, OTT02]. Le modèle de Von Thünen demeure au cœur de ce nouveau courant [BAU96]. Les chercheurs du domaine, emmenés essentiellement par P. Krugman et N. Fujita tentent d'intégrer les points 1 et 2 pré-cités dans la théorie économique. Leur démarche est dynamique : à partir de situations en équilibre, ils introduisent des **déséquilibres** (**hétérogénéité** de la population par exemple [DAN01]) ou des comportements « non rationnels » (des croyances par exemple [OTT02]), analysent les forces générées et décrivent les nouveaux états d'équilibre stables ou instables qui en résultent.

Enfin, une troisième voie de recherche privilégiée est celle de la simulation du comportement des acteurs économiques au travers de modèles spatiaux de microsimulation et notamment les systèmes multi-agents [HOL01, JAG00]. Utilisés dans un cadre économique, ces outils permettent de simuler des échanges entre des acteurs spatialisés en relation avec des ressources elles mêmes localisées au sein d'un système régulateur (mécanisme d'équilibre des prix, système de contrôle de l'accès aux ressources ...) [ANT98]. L'hypothèse est que le jeu des interactions aboutit sous certaines conditions à une situation d'équilibre (de type Nash) dans laquelle tous les gains possibles de l'échange sont obtenus.

L'objectif est de tester les réactions d'un système (et notamment l'évolution de son organisation spatiale) à de nouvelles règles ou de nouveaux acteurs [LAR98] ou au contraire de calculer et de comprendre les forces en présence s'établissant dans une situation d'équilibre.

*qui  
parler  
au Nati  
en café  
pour  
=.  
Ne faire  
pas...*

*JAG00*



## 2. La nature de la ressource ; la structure de l'activité.

L'objectif de ce chapitre est de décrire les caractéristiques générales de l'exploitation du bois à des fins énergétiques dans les pays du Sahel. Cette description s'appuie en majeure partie sur les études menées dans les années 90 par le CIRAD et par la Banque mondiale (ESMAP) dans le cadre de différents projets de développement visant à définir, renforcer et mettre en place une stratégie pour « l'énergie domestique » dans la plupart des pays sahéliens (Mali, Niger, Burkina Faso, Tchad, Mauritanie, Sénégal).

Après avoir défini quelques notions essentielles pour notre propos, nous rappellerons le corpus théorique de l'économie des ressources ligneuses et notamment les grands principes sous-tendant les actions de gestion de ces ressources. Nous préciserons ensuite la place qu'occupe la ressource ligneuse dans la consommation énergétique des ménages sahéliens ruraux et urbains. Enfin, nous présenterons les grandes caractéristiques de l'activité économique consistant à exploiter cette ressource.

### 2.1. Définitions

#### 2.1.1. Ressource naturelle

Selon Howe (1979 in [FAU95]) « les ressources naturelles sont les terres agricoles et forestières et leurs multiples produits et services ; les zones naturelles préservées dans un but esthétique, scientifique ou de loisirs ; les pêcheries en eau douce ou salée ; les ressources minérales énergétiques et non énergétiques ; les sources d'énergie solaire, éolienne et géothermique ; les ressources de l'eau et la capacité d'assimilation des déchets par l'ensemble des parties de l'environnement ».

Les économistes classent ces ressources en deux familles : les ressources épuisables et les ressources renouvelables. Du point de vue de l'analyse économique classique, une ressource est considérée comme épuisable si elle possède un stock fini ou une offre finie. A l'inverse une ressource renouvelable est une ressource naturelle qui peut fournir indéfiniment des inputs à un système économique. En fait, toute ressource au-delà d'un certain taux d'utilisation peut devenir épuisable.

La forêt est, par définition, une ressource naturelle renouvelable. Son stock se renouvelle par la régénération des espèces et la croissance des individus. Lorsque l'intensité de prélèvement (en kg de biomasse/ha/an) devient supérieure à la capacité de renouvellement, la productivité (cf définition ci-dessous) de la forêt devient nulle et la ressource ligneuse peut être considérée comme épuisable.

#### 2.1.2. Bois-énergie

Selon la FAO, le bois-énergie correspond au bois dont la combustion satisfait des besoins en énergie qu'ils proviennent de consommateurs finaux (énergie domestique) ou de transformateurs intermédiaires (centrales électriques par exemple)

Le bois-énergie a plusieurs origines :

**Directe** : le bois provient directement des formations arborées naturelles ou plantées. Il est « consommé » soit sous la forme brute de bois de feu (le combustible se présente sous la forme de tiges plus ou moins longues et plus ou moins larges provenant des troncs et branches), soit sous la forme de charbon de bois (combustible issu de la carbonisation du bois).

**Indirecte** : le bois ne provient pas directement de la forêt mais est un sous-produit d'une autre activité : conditionnement, scierie, bâtiment ...



**Recyclée** : le bois provient d'articles manufacturés que l'on brûle après les avoir utilisés à d'autres fins (meubles, étais, ...)

Dans les pays du Sahel la forme directe est très largement majoritaire. Cependant, dans certains pays comme le Sénégal, le combustible ligneux n'est disponible pratiquement que sous la forme de charbon de bois alors que dans d'autres comme le Niger c'est la forme « bois de feu » qui domine.

### **2.1.3. Productivité, possibilité.**

Selon la FAO, la productivité correspond à la variation du stock de bois sur pied entre deux instants additionnée des quantités exportées par exploitation.

Cette donnée essentielle pour juger de la durabilité de la gestion est pourtant très difficile à calculer et son caractère dynamique rend pratiquement impossible les comparaisons. En effet, elle évolue au cours du temps. En un endroit donné, on ne peut comparer les productivités de deux peuplements que s'ils sont au même stade de développement [PIC03].

La possibilité d'une zone donnée correspond au volume de bois que l'on peut y prélever sans en diminuer le stock.

## **2.2. Rappels généraux sur la théorie économique de l'exploitation des ressources ligneuses**

La théorie néoclassique a longtemps ignoré ce secteur d'activité en considérant tout au mieux les ressources naturelles comme des facteurs de production qui combinés avec le travail, le capital et les matières premières produisent des biens et des services. Cependant, toute matière première pour accéder au statut de ressource et être utilisées doit être produite en utilisant d'autres facteurs de production.

En 1931, Hotelling énonce un ensemble de règles qui constitueront le fondement d'un théorie économique des ressources naturelles mais il faudra attendre les années 70 pour que le corpus théorique de cette économie voit réellement le jour [FAU95].

A notre connaissance, très peu de travaux théoriques ont été menés sur la localisation des activités d'exploitation des ressources naturelles. Hotelling, à ce sujet, faisait juste l'hypothèse que les mines de meilleure qualité seraient exploitées en premier. Il nous a semblé cependant nécessaire d'en rappeler les règles de base et d'en tirer les enseignements pouvant influencer sur les choix de localisation.

### **2.2.1. La théorie des ressources épuisables.**

Elle repose historiquement sur un ensemble de règles énoncées par Hotelling en 1931 visant essentiellement à définir le rythme optimum du prix de vente de la ressource permettant de maximiser le profit du producteur sur la durée de vie  $T$  du gisement.

Les hypothèses principales sont au nombre de trois :

- Les producteurs sont en situation de concurrence.
- Le coût marginal d'extraction est nul ou constant au cours du temps. nous ↗
- Le taux de préférence du producteur pour le présent (taux d'actualisation) est constant et égal au taux d'intérêt.

Dans ces conditions, Hotelling arrive à la conclusion que le prix net de la ressource doit augmenter au rythme du taux d'actualisation pour exploiter le gisement de manière optimale.

Face à une offre se raréfiant dans le temps (épuisement du stock), la demande diminue puisque le prix de la ressource croît. Au point d'épuisement  $T_e$ , le prix est maximal et la demande disparaît.

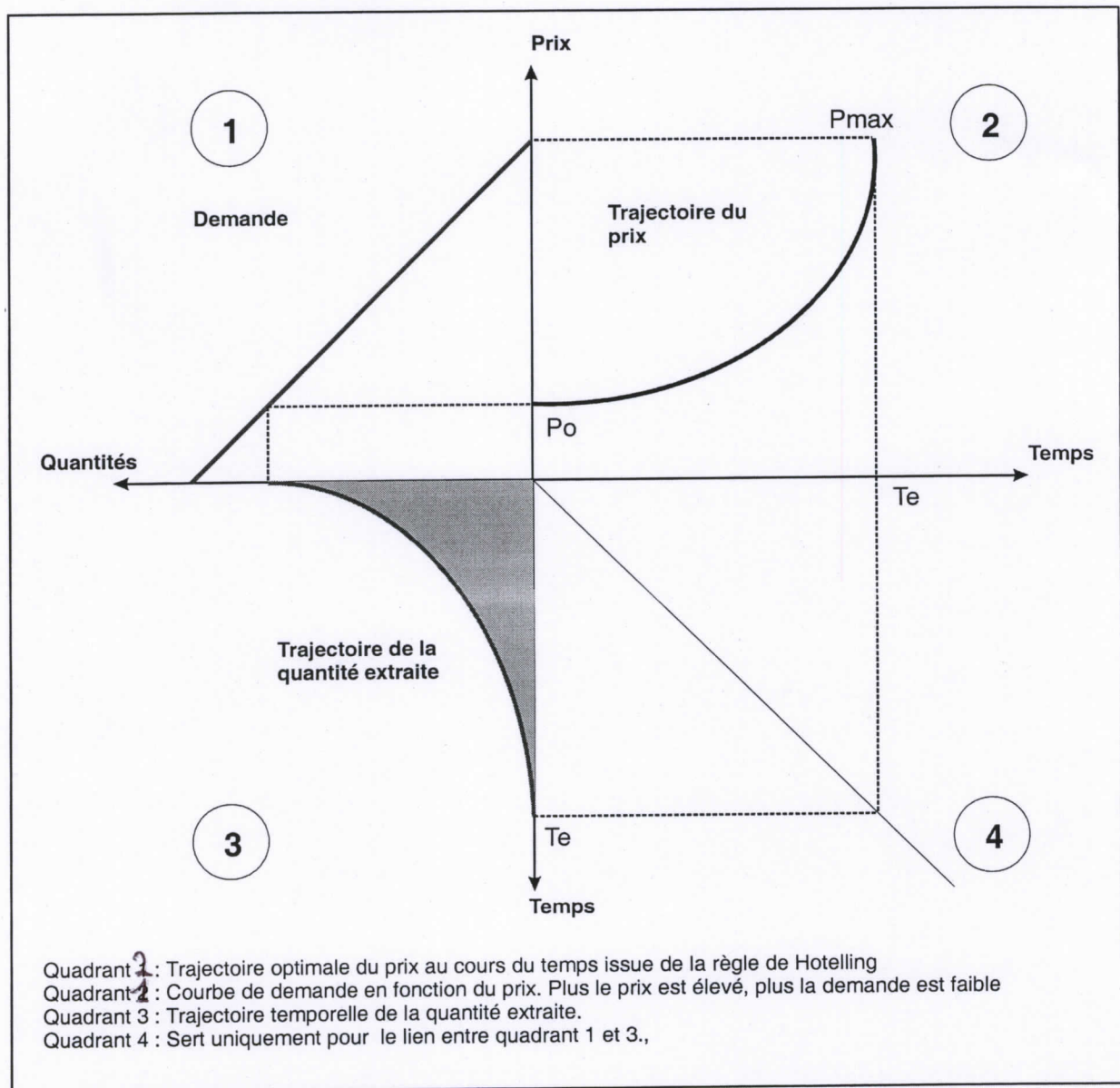


Figure 9 : Trajectoires temporelles de prix et de quantités prélevées selon le modèle de Hotelling (d'après Faucheux et Noël [FAU95])

Depuis 1931, le modèle a été affiné afin de prendre en compte plusieurs effets : la structure du marché, le coût d'extraction, l'anticipation des prix par les producteurs, l'effet de stock et l'incertitude. Nous ne développerons que les deux derniers pouvant avoir des effets directs sur l'intensité des prélèvements.

**L'effet de stock** correspond au fait que les coûts d'extraction croissent avec l'épuisement du stock car les difficultés d'exploitation augmentent au fur et à mesure que le gisement s'épuise. Dans le cas d'une mine, il devient nécessaire de creuser de plus en plus profond ;



dans le cas de l'exploitation d'une forêt, il devient nécessaire de parcourir de plus en plus de distance pour fournir la même quantité de bois.

Dans ces conditions, l'exploitation se poursuit jusqu'à ce que le stock ne soit plus économiquement exploitable. Il n'y a donc plus disparition totale du stock. Au temps  $T$  le profit est nul, l'extraction s'arrête mais la ressource n'est pas épuisée.

**L'effet de l'incertitude** correspond à la prise en compte de limites dans l'information concernant le stock initial et l'évolution de la demande. Dans le cas d'une mine, la méconnaissance du stock est évidente même si les géologues ont déployé de nombreuses techniques géostatistiques pour la réduire. Dans le cas d'une forêt, le problème est le même. A moins d'un inventaire exhaustif arbre par arbre, le volume attendu d'une formation végétale est très difficile à estimer. Les études montrent que face à cette incertitude, les prix de vente ont tendance à s'élever et l'extraction à diminuer.

En revanche, lorsque les prix futurs sont incertains, les producteurs ont tendance à accroître le rythme d'extraction [FAU95].

### ***2.2.2. Les règles de gestion de la forêt en tant que ressource renouvelable.***

Les ressources renouvelables se distinguent des ressources épuisables par leur capacité de renouvellement du stock. Dans le cas des arbres, ce renouvellement est gouverné par des phénomènes biologiques : la régénération et la croissance. La théorisation des problèmes liés à ces ressources s'appuie sur les modèles développés dans le cadre des ressources épuisables. Là encore le problème est de définir le modèle de gestion optimale de la ressource. Deux grands choix sont possibles : exploiter indéfiniment sur la base d'un taux d'exploitation dit « soutenable » compatible avec le taux de croissance du stock, ou « investir » dans la ressource en exploitant en dessous de son seuil de soutenabilité.

La gestion des forêts est un des principaux domaines d'application de la théorie des ressources renouvelables. La question pour le forestier est d'évaluer « quand abattre ? », autrement dit de fixer la période optimale entre deux coupes. La rotation optimale de coupe  $T$  est celle maximisant le rendement moyen de l'exploitation ( $V(T)/T$  où  $V(T)$  est la valeur de l'ensemble des arbres au temps  $T$ ).

Compte tenu d'un taux d'actualisation (égal au taux d'intérêt)  $\delta$ , et d'un coût d'extraction  $c$ , l'équation du rendement maximum soutenable s'écrit :

$$\frac{V'(T)}{V(T) - c} = \delta \text{ avec } V'(T) = V(T)/T : \text{rendement maximum soutenable.}$$

Le principe à retenir de cette équation est que l'accroissement de valeur nette de la forêt au cours d'une unité de temps doit être égal à ce que rapporterait la recette nette ( $V(T) - c$ ) de cette forêt si elle était placée au taux d'intérêt  $\delta$ .

La notion de rotation dans le temps s'accompagne également d'une rotation dans l'espace. La gestion soutenable d'une forêt est un exercice qui consiste essentiellement à découper l'espace forestier en parcelles qui seront mises en exploitation les unes après les autres. Après avoir été coupée, chaque parcelle est mise en quelque sorte en jachère pendant toute la durée de rotation.

En forêt naturelle, le principal problème est de déterminer  $V(T)$  qui dépend de la vitesse de croissance des arbres, de la démographie du peuplement et des capacités de régénération. De tels modèles n'existent pas à l'heure actuelle pour les milieux forestiers sahéliens. La plupart des recommandations en matière de durée de rotation s'inspirent de données moyennes de



croissance. Dans les politiques de gestion durable des ressources au Mali ou au Niger, la durée de rotation est en général fixée à 10 ans.

### **2.2.3. Enseignements dans le cadre des prélèvements de bois-énergie**

Les théories des ressources naturelles ne s'attachent pas directement au problème de la localisation de l'exploitation. En revanche, elles permettent d'éclairer certains comportements et certaines règles régissant le marché.

En premier lieu, elles introduisent **la notion de rente de rareté**. L'épuisement de la ressource crée un coût marginal d'usage supporté par le producteur ou la collectivité. Ce coût est d'autant plus fort que la ressource est rare. Cette rente n'est pas différentielle et peut effacer ou tout du moins minimiser la rente de localisation définie par von Thünen. Ainsi, la rareté devient un élément majeur dans la fixation du prix.

La perception du stock est un facteur important influençant le comportement des producteurs. Indépendamment de ses besoins réels, le producteur aura tendance à exploiter de plus grandes quantités de bois lorsque la ressource lui paraît abondante que lorsqu'il la juge limitée.

Les coûts d'extraction, négligés dans la plupart des modèles néoclassiques sont à considérer en tant que tel dans ce type d'activité. Ils conditionnent non seulement la pression de collecte du bois mais également sa localisation.

L'incertitude sur les prix de vente peut entraîner les producteurs à produire plus. Les études menées au Mali et au Niger tendent à montrer que les prix évoluent peu d'année en année. Ils fluctuent au cours de l'année, et on note des différences importantes entre la saison sèche et la saison des pluies, mais elles se retrouvent chaque année. En l'état actuel de la demande, l'incertitude sur les prix de vente du bois est donc assez faible.

## **2.3. La nature de la ressource « bois-énergie » au Sahel**

### **2.3.1. La ressource ligneuse au Sahel.**

En dehors de quelques plantations mises en œuvre dans les années 1980, les ressources forestières des pays sahéliens proviennent essentiellement des formations végétales naturelles et des espaces cultivés. Nous ne détaillerons pas ici les différents types de formations végétales sahéliennes. Nous ne retiendrons qu'une nomenclature empirique des différents espaces utilisés par les paysans et susceptibles de fournir des produits forestiers. Cette classification de l'espace rural est reprise également par de nombreux chercheurs et agents de développement.

- **les champs** correspondent aux espaces cultivés autour des villages et hameaux.
- **les parcs** ou parcs arborés correspondent à des champs dans lesquels sont conservés des arbres utiles (principalement le karité, le néré et le balanzan )
- **les jachères** sont d'anciennes terres cultivées laissées au repos afin que le sol puisse reconstituer ses éléments minéraux. Dans les pays soudano-sahéliens, les experts de la FAO considèrent que la période de jachère doit correspondre à deux fois la période de culture pour ne pas épuiser le sol.
- **la brousse** est une appellation désignant les espaces boisés non cultivés depuis longtemps à la périphérie des finages villageois. C'est une forêt que l'on défriche au rythme de l'extension des zones de culture.



- **la forêt** correspond aux différents écosystèmes dont le recouvrement ligneux est supérieur à 10% et non soumis à des utilisations agricoles. Elle regroupe comme la brousse, les fourrés, les forêts denses ou claires, les galeries forestières et les savanes. Ce terme est plus large que celui de brousse. Il peut être utilisé pour désigner des espaces

Les produits forestiers jouent un rôle essentiel dans les pays du Sahel. Les espaces boisés sont au centre d'un ensemble d'activités économiques destinées à la subsistance des paysans ou à l'approvisionnement de marchés de biens et services en milieu rural comme en milieu urbain.

Les principaux produits issus de « la forêt » sont :

- **le bois** que l'on peut décliner en bois d'œuvre, bois de service, bois-énergie (ou encore bois de feu). Le bois d'œuvre regroupe les grumes et les sciages destinés en général au marché urbain pour les industries de l'ameublement et du bâtiment. Les bois de service sont constitués des perches et piquets destinés au milieu rural pour les clôtures, les toitures, la confection des greniers à grain et le petit ameublement. Enfin, le bois-énergie représente l'ensemble des produits (fagots, charbon de bois ou briquettes) destinés à la consommation énergétique des villes et des campagnes.
- **les produits alimentaires, médicinaux et cosmétiques.** On recense plus de 50 espèces d'arbres ou d'arbustes utilisés couramment pour l'alimentation ou la médecine traditionnelle.
- **les produits industriels et artisanaux** sont également très nombreux et divers selon les zones de production. On peut notamment citer les gommes et résines, les beurres, les nattes, les cordes, la vannerie, réalisés à partir de diverses espèces ligneuses des parcs et savanes.
- **les fourrages arborés.** Dans toute l'Afrique, certaines espèces ligneuses fournissent un fourrage destiné à nourrir les animaux. L'exploitation et la vente du fourrage arboré est une activité en pleine expansion dans les zones périurbaines avec le développement de l'élevage *intra muros* dans les concessions citadines.

### **2.3.2. La contribution du bois-énergie à la consommation énergétique globale des pays sahéliens.**

#### **2.3.2.1. Situation énergétique des pays sahéliens**

La plupart des pays d'Afrique de l'Ouest se caractérisent par leur faible consommation d'énergie. Pour fixer la comparaison, la consommation par habitant au Mali, tous secteurs confondus, est de l'ordre de 0.25 Tonne Equivalent Pétrole (chiffres DNE 1997) alors qu'elle atteint 4.25 TEP en France et 8.35 TEP aux Etats Unis (chiffres OCDE-IEA 2000).

La situation énergétique de ces pays se distingue également par le poids très largement majoritaire de l'énergie domestique. L'énergie consommée par les ménages représente près de 90% du bilan énergétique national. Sur ces 90%, la cuisine en absorbe à elle seule 99%. Les énergies utilisées sont essentiellement des énergies dites traditionnelles issues de ressources naturelles renouvelables : bois-énergie (sous forme de bois de feu ou de charbon de bois) et résidus agricoles. Ces énergies représentent en moyenne 90% de la consommation totale d'énergie (cf Tableau 2).

Les pays de la région ne sont ni importateurs, ni exportateurs de bois-énergie ce qui les place dans une situation d'auto-approvisionnement en énergie et limite ainsi leur dépendance vis-à-vis de l'extérieur. Ces pays ne disposent pas ou très peu de réserves en énergies fossiles (pétrole ou gaz). Et, si globalement la consommation de ces énergies reste très faible (27 kg E.P.<sup>10</sup> par habitant et par an), elle représente néanmoins un poids important dans la balance commerciale des exportations. Le coût d'achat des combustibles pétroliers représente en effet

<sup>10</sup> E.P. : Equivalent Pétrole



20% des exportations du Mali, 58% au Burkina Faso et près de 87% en Guinée-Bissau [MIN01].

Consommateurs	Ménages & administration	Consommation nationale	
	1000 t équivalents pétrole	1000 t équivalents pétrole	% de la consommation totale
<b>Source d'énergie</b>			
<b>Energies conventionnelles</b>	<b>30</b>	<b>294</b>	<b>11,1%</b>
Electricité	11	23	0,9%
Produits pétroliers	19	271	10,2%
<b>Energies traditionnelles</b>	<b>2348</b>	<b>2354</b>	<b>88,9%</b>
Bois de feu	1997	2000	75,5%
Charbon de bois	63	63	2,4%
Déchets végétaux	288	291	11,0%
<b>Total (1000 t.e.p.)</b>	<b>2378</b>	<b>2648</b>	<b>100,0%</b>

Source: Bilan énergétique 1995 ajusté en 1997, Direction nationale de l'énergie du Mali (d'après [document de projet SEDII])

Tableau 2 : La part du bois-énergie dans le bilan énergétique du Mali

### 2.3.2.2. La consommation en bois-énergie

La consommation en bois-énergie a deux composantes : l'une rurale, l'autre urbaine. Les prélèvements de bois visent à satisfaire les besoins énergétiques des population rurales et à alimenter les centres urbains.

Le tableau ci-dessous présente la consommation moyenne de bois-énergie par personne pour chacune des quelques grandes sous-régions africaines

Région	1985	1994
Afrique de l'Ouest sahélienne	0,661	0,677
Afrique de l'Est sahélienne	1,065	0,996
Afrique de l'Ouest « humide »	1,387	1,066
Afrique centrale	1,066	1,024

Tableau 3 : Comparaison des consommations moyennes annuelles par individu (m3/hab/an) dans différentes régions d'Afrique. (source : FAO-WETT 1999 [AMO99])

### 2.3.2.2.1. L'autoconsommation rurale

La consommation moyenne par habitant des zones rurales est de l'ordre de 300 à 600 kg/hab/an (source WETT [DRI01]). Cette consommation diminue lorsque la taille de la famille augmente en raison de l'existence de fortes économies d'échelle. R.A. Cline-Cole en 1990 met en évidence une consommation individuelle variant dans un rapport de 2 à 1 entre une famille de 4 personnes et une de 10 personnes [CLI90].

Cette consommation dépend également de l'abondance de la ressource. Trois études menées en 1976 et 1979 dans différentes régions du Mali mettent en évidence que la consommation rurale tend à suivre le gradient climatique et par voie de conséquence le gradient de végétation. Cependant, ces données sont à prendre avec précaution car elles montrent également que ces mêmes consommations varient d'un village à l'autre en fonction des ethnies, des techniques agricoles (culture attelée notamment) et des activités artisanales (fumage de poisson, transformation du Karité)



Région	Pluviométrie	Consommation rurale (kg/hab/jour)
Nara Nord	< 500	1,28 - 1,35
Nara Sud	500	1,5
San	800	2,2
Kangaba	1150	1,4
Sikasso	1200	2,5

**Tableau 4 : Evolution des consommations moyennes annuelles par individu (Kg/hab/an) dans différentes régions du Mali. (source : FAO-WETT 1999 [AMO99])**

Très peu de données sont disponibles sur l'évolution temporelle de ces consommations. Dans la plupart des études, la consommation rurale est supposée constante par habitant et suit linéairement l'accroissement de la population.

Cette consommation rurale se fait en dehors de tout contexte monétaire. La ressource est considérée comme gratuite par les acteurs locaux. Comme nous le verrons par la suite, l'approvisionnement en bois des ménages ruraux est assuré par les membres de la famille. Cet auto-approvisionnement est essentiellement assuré par les femmes et les enfants lors de corvées de bois. A l'échelle de l'ensemble des pays sahéliens, rares sont les zones où cette auto-consommation est régie par les règles d'un échange monétarisé. Les seules zones connues (notamment certaines zones du delta du Niger au Mali) correspondent à des situations de pénuries sévères de bois.

#### *2.3.2.2.2. La consommation urbaine*

La consommation urbaine prend des formes très différentes. L'urbanisation de la population modifie les modes alimentaires et les préférences en matière de combustible.

- Les citadins prennent souvent leur petit déjeuner et leur déjeuner dans la rue, à proximité de leur lieu de travail. Ils ont facilement accès à des produits élaborés comme le pain ou les pâtes qui nécessitent des modes de cuisson différents des aliments traditionnels (galette ou bouillie de mil)
- La structure de l'habitat urbain permet de moins en moins de faire la cuisine au feu de bois car les espaces de stockage sont réduits et les dégagements de fumée sont gênants pour l'entourage. Les citadins préfèrent des combustibles plus propres, faciles à stocker et à utiliser.
- L'activité urbaine réduit le temps consacré aux repas et le citadin favorise des modes de cuisson rapide.
- La taille des familles diminue, les besoins énergétiques quotidiens également et les ménages deviennent sensibles à la possibilité d'acheter l'énergie en petite quantité.

Enfin, les utilisateurs urbains paient leur énergie. Ils deviennent ainsi sensibles à la qualité du produit et au rendement énergétique de ce dernier.

A l'exception du Sénégal, l'utilisation des énergies de substitution est encore très marginale. En revanche, la consommation de charbon de bois devient majoritaire dans la plupart des villes sahéliennes. A titre d'exemple, il était utilisé par 18% des ménages de Bamako en 1995 et l'est par plus de 60% en l'an 2000. Ce combustible est jugé comme moderne et propre par la plupart des ménages.

En matière de bois de feu, les nouvelles préférences urbaines se traduisent par une demande en bois calibré pour un stockage plus aisé ( petites bûchettes de moins d'1 m de long et de moins de 10 cm de diamètre )

L'impact de ces changements sur la consommation en bois est encore difficile à évaluer faute de données fiables :



- D'un côté, la consommation urbaine par habitant tend à diminuer du fait des modifications dans les modes d'alimentation, de la difficulté à stocker du bois en zone urbaine, d'une certaine conversion aux énergies fossiles et de la monétarisation du combustible.
- De l'autre, elle tend à augmenter par l'action conjuguée de la diminution de la taille des ménages urbains, du calibrage du bois (qui induit des pertes de matière) et surtout du « passage » au charbon de bois. En effet, ce dernier est synonyme de faible rendement énergétique : le pouvoir calorifique final du charbon est le double de celui du bois de feu, mais la confection d'1 kg de charbon nécessite 5 à 7 kg de bois de feu (source [MAD97]).

Cependant, les dernières études menées au Mali et au Niger semblent montrer que la consommation urbaine est en moyenne supérieure de 20% à celle des zones rurales.

### 2.3.3. Un contexte de crise

Actuellement, dans pratiquement tous les pays sahéliens, la consommation de combustibles ligneux excède les possibilités d'offre durable.

Ce sentiment de crise du bois-énergie est apparu dans le milieu des années 1970. Il a fait écho à la crise pétrolière qu'ont connue les pays industrialisés à la même époque. Tous les modèles prédisaient alors qu'en l'absence de mesures prises rapidement la pression exercée sur les ressources ligneuses conduirait une grande partie du Sahel à être transformée en désert. Ce sentiment a été renforcé par les épisodes de sécheresse qu'a connus le Sahel de 1970 à 1990. A Bamako, la pluviométrie annuelle moyenne a baissé de 200 mm entre les périodes 1950-67 et 1968-2000 (Source Agrhymet 2001).

Ces analyses reposaient en majorité sur une approche quantitative et malthusienne du déficit entre la consommation annuelle et la production annuelle de la végétation. Elle considérait généralement une évolution linéaire des quantités prélevées en fonction de l'accroissement de la population.

Sur ces bases, une étude du CILSS datant de 1982, prédisait une disparition totale des zones boisées dans la périphérie de Bamako à l'horizon de 2010 (dans [TRA85]), ce qui n'est évidemment pas le cas.

Les prévisions se sont en général révélées fausses pour de multiples raisons. L'explication principale est que la méthode utilisée, un simple bilan production – consommation, ne permet pas de prendre en compte les capacités de réaction et d'adaptation des populations à la diminution de la ressource. De plus, l'approche est très sensible aux hypothèses sur la production ligneuse. Or, la connaissance scientifique sur ce point est encore embryonnaire [ESM01].

La crise énergétique n'a pas eu lieu, néanmoins la pression sur la ressource ligneuse demeure. La consommation urbaine et rurale ne cesse d'augmenter et la productivité ligneuse des formations naturelles est naturellement faible.

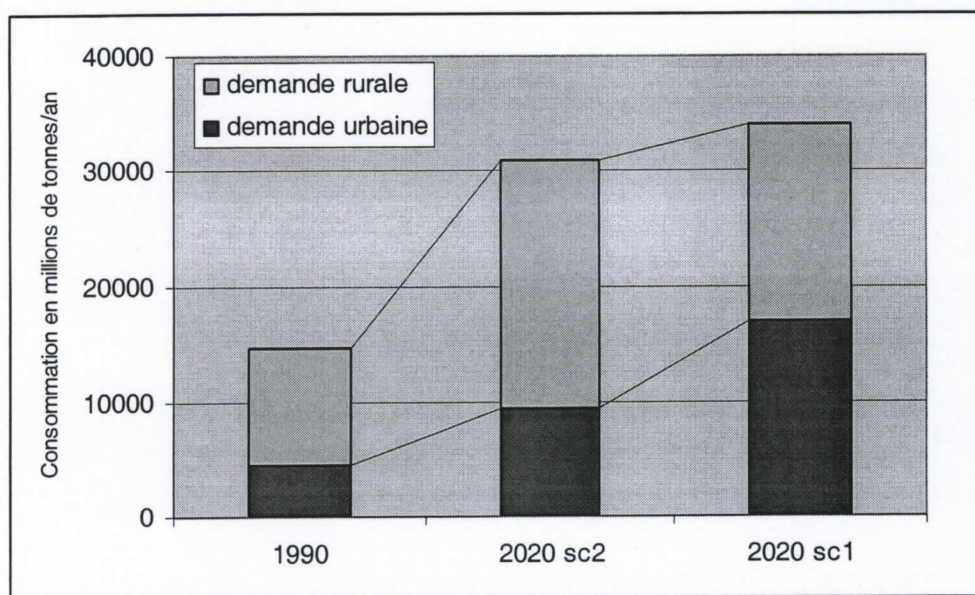
#### 2.3.3.1. Une consommation urbaine et rurale qui croît

Même si la relation n'est pas linéaire, dans les conditions actuelles de l'approvisionnement énergétique des pays du Sahel, il existe un lien évident entre consommation de bois de feu et croissance démographique.

Une évaluation prospective de la consommation en énergies traditionnelles dans cinq pays du Sahel (Burkina Faso, Gambie, Niger, Mali et Sénégal) met en évidence que la demande fait plus que doubler en 30 ans et que la seule consommation urbaine devrait dépasser la consommation actuelle totale de la région.

Le graphique ci-dessous (Figure 10) retrace l'évolution de la demande potentielle d'énergies traditionnelles dans les cinq pays sus-cités jusqu'à l'horizon 2020





2020 Sc1 : Scénario de croissance économique soutenue poursuivant les tendances observées sur la période 1960-1990

2020 Sc2 : Scénario de croissance plus limitée, correspondant au ralentissement du taux d'augmentation des populations urbaines constaté durant ces dix dernières années

**Figure 10 : Demande potentielle totale en énergies traditionnelles de cinq pays sahéliens à l'horizon 2020 (Burkina Faso, Gambie, Mali, Niger, Sénégal) -Source : [MIN01]**

### 2.3.3.2. Une offre limitée et mal connue

Les études sur la productivité de formations naturelles des zones sèches sont très récentes. Les premières estimations faites par Clément en 1982 mettent en évidence des productivités très faibles, de l'ordre de 1 à 2 m<sup>3</sup>/ha/an selon la pluviométrie. ]—

Depuis, même si les études et les inventaires se sont succédés, les connaissances acquises sont encore très rudimentaires. Elles ne permettent pas d'estimer localement la productivité en fonction des conditions bio-climatiques (méconnaissances des effets climatiques sur la dynamique végétale) ou des actions humaines (méconnaissance des effets des prélèvements et de l'agriculture sur la dynamique végétale). La plupart des études ont été menées sur les forêts, négligeant les jachères qui pourtant participent de manière très importante à la fourniture de bois [BAZ98].

Le tableau ci-dessous synthétise les données de la Banque mondiale [ESM01] sur les stocks sur pied et les productivités moyennes des différents types de formations végétales rencontrées dans la zone soudano-sahélienne. Les deux dernières lignes du tableau rappellent pour comparaison, les valeurs obtenues en forêt dense équatoriale africaine et dans une plantation d'Eucalyptus.



Végétation	Stock (tonne/ha)	Production moyenne (tonne/ha/an)
Steppe	10	0,5
Savane	17	0,2
Forêt claire	20	0,6
Forêt dense sèche	30	0,77
Forêt dense humide équatoriale (source CIRAD)	NC	10 à 35
Plantation d'Eucalyptus saligna (source CIRAD)	NC	10 (branches non comprises)

Tableau 5 : Stock sur pied et production annuelle de biomasse ligneuse (troncs et branches) pour différents types de formations végétales en Afrique Sub-Saharienne. (source : Banque Mondiale 1994)

Ces valeurs varient en fonction de la pluviométrie. Malick Sylla en 1997 propose d'estimer la productivité  $i$  en fonction de la pluviométrie ( $P$ ) d'une part et du recouvrement au sol de la végétation ( $R$ ) d'autre part [CCL98]. Sa formule statistique est utilisée dans la plupart des études au Mali et est en cours de transfert au Niger<sup>11</sup>.

$$\text{Productivité} = 0.3699 \cdot e^{3.1652 \cdot P \cdot R}$$

recuplex  
formule 16/11/00?

En suivant le gradient pluviométrique de la zone soudano-sahélienne (de 600mm au Nord à 1200 mm au Sud), la productivité moyenne des formations arborées (savanes et forêts) évolue de 0.4 m<sup>3</sup>/ha/an à 1.2 m<sup>3</sup>/ha/an

12 3 stes.

0,3 T à 1 T.

Sylla

### 2.3.3.3. Une ressource devenue non renouvelable

Même si les connaissances sur la consommation et sur la productivité de la végétation ligneuse sont très incertaines, la majorité des analystes conclut à une surexploitation des ressources forestières. A tel point que certains n'hésitent toujours pas à accuser l'exploitation énergétique du bois d'être « la cause principale de la déforestation » [CHA99].

Les études menées au Mali dans le bassin d'approvisionnement de Bamako estiment que la ressource croît de 4,7 M de tonnes de bois par an alors que la consommation (urbaine + rurale) est de l'ordre de 2,7 M de tonnes par an. Cependant, au rythme actuel d'accroissement de la population et d'extension des surfaces agricoles, la consommation annuelle devrait égaler la productivité aux environs de 2010. Cela signifie qu'à partir de 2010, les prélèvements seront supérieurs à la capacité de régénération naturelle du stock de bois. Comme nous le verrons par la suite, cette surexploitation soutenue fait du bois une ressource qui s'épuise. Son stock diminue jusqu'à disparaître dans certaines régions. Certains auteurs parlent alors d'exploitation « minière » des ressources forestières.

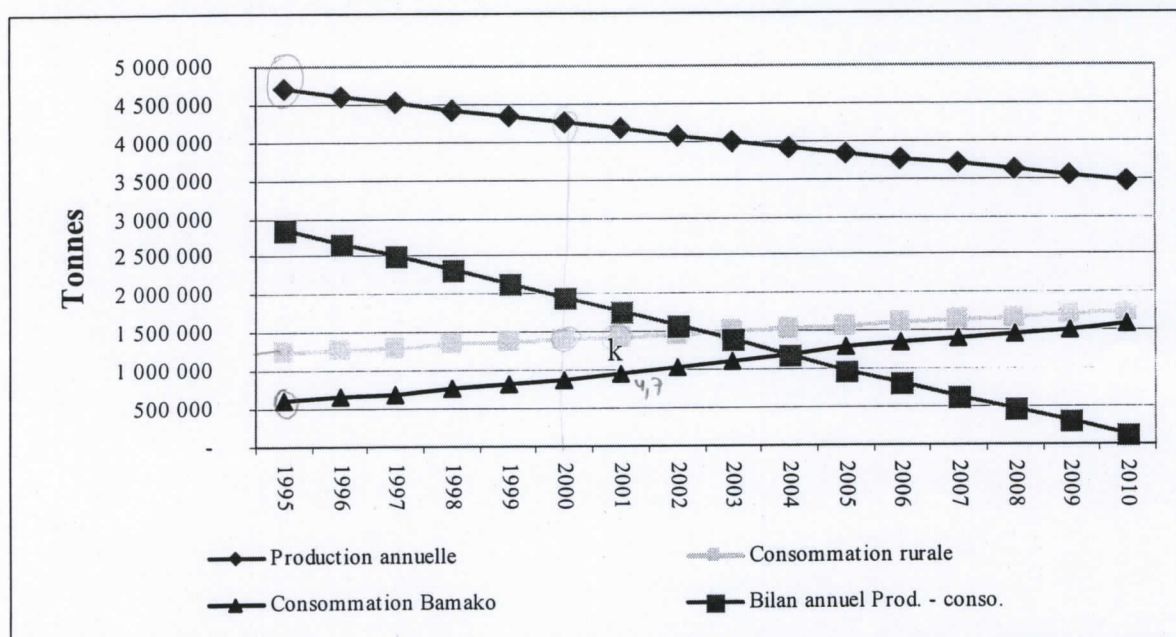
Bugare =  
x Ne marche pas  
de M. J. r.

$R^2$  taux recouv. sol / brone (ha)  
P Pluviométrie en mm (mmelle)  
annuelle m<sup>3</sup>/ha/an.  
[P n'est pas par ha]

☑ + surface  
calcul.  
entre du PIRE &  
à rombe.

<sup>11</sup> Malick Sylla a proposé d'utiliser sa formule au Niger dans le cadre du projet PAFN (Projet d'Aménagement des Forêts du Niger)





Hypothèses :

Baisse de la productivité de 2 %/an

Croissance annuelle de 2,3 % de la population rurale

Croissance annuelle de 8 % jusqu'à 2005 puis 4 % de la consommation des produits ligneux à Bamako

**Figure 11 : Evolution du bilan (Production annuelle – consommation annuelle) jusqu'à l'horizon 2010 dans la région de Bamako. (Source : CCL 1998)**

#### 2.3.4. Le bois, seule ressource énergétique à court et moyen terme.

La part du bois-énergie dans la consommation énergétique malienne est restée relativement stable durant toute la dernière décennie et ce malgré les encouragements à l'utilisation d'énergies de substitution telles que le pétrole lampant ou le gaz.

L'absence de « coût » tangible du combustible ligneux en zone rurale rend difficile toute promotion en la matière [MIN01].

Les exemples de conversion des pays de la zone et notamment l'exemple sénégalais nous montrent que l'évolution est très lente. Les énergies de substitution même si elles sont appréciées par les ménages urbains restent très peu utilisées au Mali (moins de 1% des ménages en 2000). Les raisons en sont principalement économiques.

Des études récentes sur les coûts comparés du prix de revient des différents combustibles disponibles au Mali mettent en évidence que le bois est encore très largement le combustible le moins cher. Derrière lui, viennent le charbon de bois puis les énergies de substitution qui sur le seul plan financier sont de plus en plus compétitifs [MAD97].

Le pétrole lampant même s'il est financièrement compétitif avec le charbon de bois nécessite un équipement de cuisson au prix relativement élevé (15000 CFA en moyenne) [MAD97]. Le gaz butane est le combustible domestique le plus cher.

D'une manière générale, la dévaluation du franc CFA en 1994 et les difficultés d'approvisionnement de tels produits dans des pays enclavés tels que le Mali, le Niger ou le Tchad limitent leur expansion.

Le bois reste à court et moyen terme la source privilégiée d'énergie du Sahel, même si certains auteurs prévoient « une mort annoncée du bois-énergie à usage domestique » [MAT01]. Le poids des habitudes culinaires, le déséquilibre de la balance commerciale et la

disponibilité encore importante en ressources ligneuses devraient retarder la substitution au profit d'énergies plus modernes pendant plusieurs décennies [MIN01].

## **2.4. La nature de l'activité**

L'activité d'exploitation de la ressource arborée, qui se traduit physiquement par une coupe totale ou partielle des arbres et arbustes est le fruit de différentes logiques dépendant à la fois de la finalité du produit (bois, charbon à usage local ou urbain) mais également des contrôles exercés sur cette ressource.

### **2.4.1. Les règles d'accès à la ressource**

Les règles d'accès et d'usage de la ressource forestière sont complexes et varient en fonction des pays, groupes ethniques et des zones géographiques. Dans tous les pays d'Afrique de l'ouest, ces règles sont soumises à deux grands types d'autorité qui se superposent: l'autorité villageoise et l'autorité de l'Etat.

Les droits de prélèvement dépendent essentiellement du statut et du type d'utilisation des terres sur lesquelles l'exploitation est opérée. Ainsi, les règles sont différentes selon que les ressources se trouvent sur des terres cultivées, sur des jachères, sur des brousses, sur des terres familiales, étatiques ou communautaires [BEN97, SID97].

#### **2.4.1.1. Les règles de l'Etat**

Pour l'Etat, l'exploitation des forêts est fondée sur un code forestier très semblable d'un pays à l'autre. Ce dernier définit le domaine forestier de l'Etat comme :

- *Les forêts (association d'arbres biologiquement interdépendants),*
- *Les périmètres de reboisement,*
- *Les terrains soustraits des défrichements,*
- *Les terrains de parcours portant une végétation arborée ou arbustive,*
- *Les jachères anciennes de 5 ans et plus.*

(Code forestier du Mali. Loi N° 86-42 AN/RM portant code forestier).

Le code forestier régit les défrichements et les droits d'usage des ressources forestières sur les zones citées ci-dessus à l'échelle du pays.

Le patrimoine forestier est divisé en deux domaines : les forêts classées qui représentent les forêts directement gérées par l'administration forestière en vue de leur conservation ou de leur exploitation commerciale (plantations, parcs nationaux, forêts classées de production) et les forêts protégées qui correspondent à toutes les autres (jachères, brousses, terres de parcours ...).

Dans le domaine protégé, la population locale jouit librement du droit d'usage des ressources forestières à condition que cet usage ne donne lieu à aucune transaction commerciale. Les défrichements sont néanmoins soumis à autorisation de l'Etat.

L'exploitation commerciale du bois dans les deux domaines est subordonné au paiement d'une taxe (fonction de la quantité de bois prélevée) donnant lieu à l'émission par l'administration forestière d'un permis de coupe. La circulation des produits forestiers doit également être accompagnée d'un permis de circulation qui ne peut être délivré que sur présentation du permis de coupe.

Le système en place donne le pouvoir aux services forestiers d'attribuer à n'importe quel entrepreneur spécialisé (charbonnier, bûcheron) le droit d'accès aux espaces boisés considérés comme propriété de l'Etat.



#### 2.4.1.2. *Les droits coutumiers*

Traditionnellement, l'accès aux ressources naturelles est réglementé par des droits coutumiers à l'échelle du village. En général, les prélèvements de bois de feu sont libres sur toutes les terres non cultivées. Sur les terres cultivées, l'activité se conforme aux systèmes de tenure en vigueur. Le droit de propriété sur la terre implique de plus en plus *de facto* le droit de propriété sur les arbres [SID97]. De même, le bois issu de défrichements appartient à leurs auteurs.

L'autorité villageoise, représentée selon les lieux par le chef du village, le chef des terres, le conseil des anciens, le chef religieux ou encore le Maître de brousse, est la seule habilitée à donner les autorisations de défrichement (mise en culture) et d'exploitation forestière. Ces autorisations sont données en fonction des terres concernées, de la nature des espèces végétales présentes et de la position sociale du demandeur. Ce contrôle a essentiellement pour objectif de préserver les ressources naturelles d'une dilapidation éventuelle par des « étrangers » au village: pasteurs, villageois voisins ou nouveaux arrivants [BEN97].

#### 2.4.1.3. *L'émergence de nouvelles autorités.*

Historiquement, la mainmise de l'Etat sur les ressources s'est substituée à la gestion locale des chefferies villageoises. Pour certains auteurs, cette dualité est à l'origine d'un affaiblissement mutuel des deux pouvoirs [BAZ98]. L'Etat a écarté les chefs des décisions d'exploitation, les dévalorisant alors vis-à-vis de la population locale.

Actuellement, les Etats africains ne disposent plus des moyens nécessaires pour assurer un réel contrôle sur l'exploitation des ressources. Au Mali, seuls 10% de la consommation nationale en bois-énergie serait contrôlée par l'administration (Dembele cité dans [BAZ98]).

L'exploitation se fait donc pratiquement en dehors de toute autorité ce qui favorise l'émergence de nouveaux groupes de pouvoirs issus de la profession elle-même. Ces derniers profitent par ailleurs des processus de transfert de gestion des ressources naturelles en cours dans toute cette région du globe. L'exploitation commerciale du bois en vue de l'approvisionnement des villes augmente considérablement la valeur économique des ressources végétales. Elle suscite des frustrations pour le villageois qui voit venir des étrangers tirer un revenu de « sa » brousse et crée une compétition entre bûcherons voisins. En réaction, on assiste à un renforcement de l'autorité des individus sur ce qu'ils jugent être leur ressource et à une structuration de la profession, voire à l'émergence d'une police professionnelle, visant à organiser et contrôler l'activité à l'intérieur des espaces villageois [BAZ98, HAU01].

M. Dolo, jeune chercheur malien notait en 1995 qu' « avant, dans le cadre de l'autoconsommation, seules les jachères étaient exploitées par les femmes. Depuis que le bois a acquis une valeur marchande, ces jachères ne sont plus accessibles à tout le village et ne sont exploitées que par la famille qui auparavant cultivait la parcelle ». (cité dans [BAZ98])

Le commerce du bois se traduit par une appropriation de plus en plus forte des ressources arborées au niveau individuel et/ou villageois.



#### 2.4.2. La nature et la localisation des prélèvements.

La question de la localisation des prélèvements se pose essentiellement à deux échelles :

A l'échelle de chaque village tout d'abord, où l'activité est très dépendante de l'organisation générale du finage et des stratégies agricoles.

A l'échelle du bassin d'approvisionnement ensuite, où la concentration de l'activité dans certaines zones dépend de l'accessibilité du marché et de l'organisation générale de la filière.

##### 2.4.2.1. L'organisation spatiale des ressources arborées d'un village

Les pays de la zone sahélienne, malgré une urbanisation de plus en plus forte restent néanmoins des pays ruraux. Au Mali, 80% de la population active est agricole.

La structure spatiale des terroirs est en grande partie le reflet du mode de gestion de la fertilité des terres. Le système de culture se caractérise par l'association des céréales traditionnelles (mil, sorgho, niébé) et du maïs avec les cultures de rente comme l'arachide, le coton ou le riz. La gestion de la fertilité associe la fumure organique à partir de fumier, de compost ou de déchets ménagers, la jachère et l'action fertilisante de certains arbres (légumineuses en particulier). L'emploi d'engrais est en général pratiquement nul sauf dans certaines zones spécialisées dans les cultures industrielles (le coton dans le Sud du Mali, le riz dans les périmètres irrigués).

En saison des pluies, le bétail pâture la jachère durant la journée et demeure parqué près des habitations la nuit, sur les tas de compost. Pendant la saison sèche, après les récoltes, les animaux mangent les tiges des céréales ou les fanes d'arachide et de niébé et amendent ainsi les champs. Lorsque les résidus de culture ne suffisent plus, l'alimentation du bétail se fait surtout dans les zones de jachère ou de brousse, complétée par des fourrages arborés.

Ces pratiques culturelles organisent les villages en auréoles concentriques autour des habitations. Du centre à la périphérie du village on distingue :

1. **Les cases et les jardins immédiats.** Ces derniers bénéficient du compost et des déchets ménagers toute l'année. On y trouve des arbres fruitiers et on y cultive légumes, condiments et céréales.
2. **Les champs de « case »** qui sont en culture permanente. Ils reçoivent le fumier des animaux, parfois des engrais. Ils sont emblavés avec des cultures céréalières ou des cultures de rente. Une période de jachère de courte durée peut être introduite. Ces champs présentent de nombreux arbres aux espèces sélectionnées pour leurs fruits et leur fourrage et constituent de véritables parcs arborés<sup>12</sup>.
3. **Une mosaïque d'espaces boisés**, de jachères anciennes et de champs dits de « brousse ». Cette troisième couronne est une zone de jachère longue.
4. **La « brousse » ou forêt jamais cultivée.** Elle représente une réserve foncière qu'il est possible de défricher et de mettre en culture lorsque la population s'accroît. Cette quatrième couronne constitue également un espace où les animaux peuvent venir pâturer et divaguer sans contrainte

Il n'y a pas d'espace spécifiquement affecté à la production de bois, il y a seulement des terres peu ou pas occupées par l'agriculture [BAZ98]. D'une manière générale dans toute la zone, l'agriculture est prioritaire sur l'élevage et la foresterie. Dans ce contexte, l'extension des surfaces agricoles cultivées sous l'action simultanée de stratégies de spéculations foncières, de l'accroissement géographique, de l'introduction de nouvelles cultures ou de la baisse des rendements entraîne nécessairement une diminution de la ressource arborée

---

<sup>12</sup> Le parc arboré est une des caractéristiques des paysages agraires des zones soudano-sahéliennes. L'arbre est conservé au milieu des cultures. Le karité (*Vitellaria paradoxa*), le néré (*Parkia biglobosa*) ou le balanzan (*Faidherbia albida*) sont parmi les espèces les plus fréquentes.



disponible. Au vu de l'organisation spatiale classique des villages, cette conversion agricole a également pour effet mécanique d'éloigner les brousses des habitations et donc d'allonger les temps d'accès.

#### *2.4.2.2. Les prélèvements lors des défrichements*

Le défrichement est la première étape de mise en culture de l'espace en zone soudano-sahélienne. Il peut être pratiqué sur une brousse encore jamais cultivée ou sur une jachère. Le défrichement ne signifie pas la disparition totale des arbres. En général, les arbres de valeur sont conservés. Le bois coupé est utilisé pour l'auto-consommation ou mis en vente pour l'approvisionnement des centres urbains. A notre connaissance, aucune étude n'a été menée pour évaluer quelle est la quantité de bois issue des conversions agricoles réellement consommée localement ou en milieu urbain.

#### *2.4.2.3. Les prélèvements pour l'autoconsommation*

L'auto-approvisionnement des ménages ruraux est essentiellement assuré par les femmes et les enfants. Chaque sortie au champ ou en brousse est mise à profit pour rapporter un fagot de bois.

L'exploitation se fait préférentiellement à proximité de l'exploitation familiale dans les champs, les jachères ou la brousse. Il semble que plus on se rapproche des centres urbains, plus la proportion de bois prélevé dans les jachères augmente. Le bois collecté est choisi en fonction de sa facilité de récolte, de son pouvoir calorifique ou de considérations d'ordre religieux et culturel [CCL98]. En général, les préférences vont vers le bois mort et les bois de petits diamètres ; les arbres fruitiers comestibles et les essences utiles à la pharmacopée ne sont coupés que lorsqu'ils sont morts.

La distance moyenne d'approvisionnement du lieu de collecte au village est variable. Jusqu'à des distances de l'ordre de 5 km, les prélèvements sont associés aux travaux dans les champs et le bois est généralement rapporté sur la tête des femmes. Pour des distances supérieures le recours aux charrettes à ânes est nécessaire. Lorsque celui-ci est impossible, les femmes coupent et stockent le bois, qui sera alors transporté par les hommes.

Cette corvée de bois, généralement quotidienne, peut prendre des formes différentes au cours de l'année selon la disponibilité en biomasse de substitution (résidus agricoles notamment), les conditions climatiques et les ressources financières du ménage [ESM98].

D'une manière générale, la raréfaction du bois augmente le temps et la distance nécessaire à la corvée.

#### *2.4.2.4. L'exploitation commerciale du bois à usage urbain*

La demande urbaine en bois-énergie des villes sahéliennes est satisfaite par les campagnes avoisinantes. Les paysans outre leur propre consommation en bois doivent assurer celle des citadins. Ce marché urbain a entraîné le développement d'une activité économique devenue l'une des toutes premières de ces pays en terme de montants financiers et d'emplois [MAT00].

A chaque centre urbain est associé un « bassin d'approvisionnement » qui représente « l'aire de chalandise » l'alimentant en bois de feu. Selon le type de combustible utilisé (bois ou charbon, voire briquettes), les ressources disponibles, les modes d'organisation de la filière d'approvisionnement et bien entendu la population urbaine, ces aires peuvent avoir des formes et des portées très variables. Les portées de villes comme Bamako (1 million d'hab) ou Niamey (500000 hab) sont estimées à environ 150 km, tandis que celles de Dakar (1,9 million d'hab) ou encore Kano (2,6 millions d'hab) s'élèvent à plus de 300 km.



Selon les principes de ce que R. Cline Cole *et al* appellent « l'orthodoxie du bois-énergie », cette activité serait d'autant plus forte que l'on est proche du centre urbain [CLI90] et serait responsable de la formation d'anneaux de déforestation autour des villes.

Or s'il est indéniable que pour beaucoup de villes, l'activité se concentre dans les zones périphériques, il n'en reste pas moins que des différences significatives de pratiques s'observent entre les villages situés au sein d'un même anneau et que certaines villes (Kano au Nigeria par exemple, étudiée par Cline Cole [CLI 90]) démontrent un effet inverse : la pression est d'autant plus forte que l'on est éloigné du centre. De plus, la forme en anneaux n'est, comme le modèle de von Thünen, qu'une figure idéale : plus que la distance c'est l'accessibilité des zones de production qui compte. Le réseau routier joue donc un rôle essentiel dans l'organisation spatiale du bassin d'approvisionnement.

Quant au lien avec la déforestation, il est très loin d'être prouvé car comme le font remarquer justement Mearns et Leach, le bois n'est généralement qu'un sous produit du défrichement agricole [MEA89].

Cette activité entraîne une spécialisation des villages autour des centres urbains. Selon les pays et les centres urbains, on observe ainsi :

- Des villages où les villageois exploitent activement leur ressource. Une partie importante de la population participe à l'activité. Ils mènent de véritables stratégies commerciales notamment en matière de prix de vente et même de promotion de leur produit en ville. C'est le cas au Mali, au Tchad et dans certaines régions du Niger. *Niméy - Noudi.*
- Des villages où l'exploitation est « laissée » à des personnes extérieures au village. Ces bûcherons ou charbonniers professionnels sont en général engagés par des « grossistes » urbains. Ce mode de prélèvement est très répandu au Sénégal et au Niger. Il tend à disparaître au Mali et au Tchad. *in contrôle.*
- Des villages pratiquant des ventes opportunistes. Ce sont en général des villages éloignés des centres urbains mais situés en bord de route. Le bois est irrégulièrement placé en bord de route attendant un acheteur occasionnel.
- Des villages qui ne vendent pas de bois à l'extérieur.

A l'échelle du village, les règles d'accès à la ressource sont en théorie les mêmes, qu'elle soit dédiée à l'auto-approvisionnement rural ou au marché urbain. Néanmoins, comme énoncé précédemment, la valeur marchande du produit et la spécificité de la demande urbaine modifient les préférences envers les lieux de coupe.

La demande urbaine se traduit par des quantités importantes à fournir et des besoins en produits calibrés de gros diamètre. La faible productivité des jachères soumises aux coupes répétées des femmes ainsi que les restrictions d'accès s'y appliquant, tendent à repousser les zones de prélèvements de « bois commercial » vers la brousse. L'enquête menée par Alain Bertrand en 1985 [TRA85], montre qu'autour de Bamako, 60% du bois commercialisé provient de brousses, 16 % de jachères et 12% de forêts mortes. Cette migration vers les zones de brousse est accélérée par un renforcement des droits de propriété sur la ressource située dans les zones cultivées.

La coupe se fait le moins loin possible des villages et des hameaux de cultures, afin de minimiser les problèmes de transport : les femmes portent généralement le bois sur la tête ; quelques privilégiées louent des charrettes ou bénéficient d'une aide familiale pour le transport de leur stock de bois.

### **2.4.3. L'attractivité économique de l'exploitation commerciale**

#### **2.4.3.1. Les revenus de l'exploitation**

Peu d'enquêtes exhaustives ont été réellement faites pour quantifier les revenus de l'activité des bûcherons et des charbonniers. Nous avons tenté d'estimer ces derniers à partir



des enquêtes disponibles bien qu'une grande incertitude demeure sur le nombre d'actifs concernés.

Les chiffres du Tableau 6 montrent que l'activité des bûcherons au Mali était en 1995, a priori, aussi rémunératrice que la production de coton<sup>13</sup>. Depuis, le cours du coton a considérablement baissé et le bois est certainement une activité plus rémunératrice.

Ils montrent également que ces revenus sont faibles et ne couvrent guère plus que les dépenses alimentaires moyennes d'un habitant rural.

Les revenus du charbon sont pratiquement le double de ceux du bois. Dans certaines zones du Mali, ces revenus ont permis à certains charbonniers d'investir dans l'achat d'animaux ou d'équipements agricoles [CCL98].

	Mali (moyenne nationale) Enquêtes 1985	Mali (bassin de Bamako) Enquêtes 1995-1996	Sénégal Enquêtes 1990-1994
Revenu Bûcheron (CFA/actif/an)	50000 – 85000 (5)	90000 (1)	Pas de bûcheronnage
Revenu Charbonnier (CFA/actif/an)	55000 – 360000 (5)	200000 (1)	145000 (4)
Revenu du coton (CFA/actif/an)	N.C.	104544 (3)	N.C.
Dépense alimentaire (CFA/hab/an)	N.C.	68000 (2)	62000 (2)

Niger ?

(1) : source « schéma directeur d'approvisionnement en bois énergie de Bamako » en considérant 5000 charbonniers et 15000 bûcherons [CCL98]

(2) : source « enquêtes de consommation » Banque Mondiale [MAG94, DPS97]

(3) : source CMDT/Suivi évaluation Novembre 1996 [DAO]

(4) : source « enquêtes filière » JC Ribot [RIB98]. —

Sénégal.

(5) : source « enquêtes filières » TRANS ENERG [TRA85]

**Tableau 6 : comparaison des revenus moyens des bûcherons et charbonniers au Mali et au Sénégal au regard de leurs dépenses alimentaires**

Au-delà des considérations de rentabilité économique, le bois est un moyen pour les producteurs ruraux de disposer d'argent liquide rapidement. Dès le bord de route, les échanges deviennent monétarisés et payables immédiatement. C'est le moyen pour les paysans d'obtenir de l'argent pour le fonctionnement de leur exploitation agricole et pour leurs besoins familiaux sans attendre la vente de la récolte.

Même si dans l'absolu ce revenu n'est pas très élevé, pour la majorité des producteurs, il est considéré comme important voire indispensable à la satisfaction de leurs besoins familiaux. C'est pour les ruraux les plus démunis, une activité de survie pratiquée malgré tout en dernier recours du fait de son peu de valorisation sociale.

#### 2.4.3.2. La pénibilité et le manque de considération sociale du travail de bûcheron

Quel que soit le pays, le bûcheronnage et surtout le charbonnage sont vécus comme des activités physiquement pénibles et socialement dégradantes.

Des principales enquêtes effectuées auprès des producteurs, il ressort que :

<sup>13</sup> Le coton est une production « phare » du Mali. En 1995-1996 elle a contribué pour 45% aux recettes d'exportation du pays et a apporté 80% des recettes fiscales de l'Etat.



au Niger, le travail de bûcheronnage reste une activité peu valorisée socialement et que ne pratiquent pas certains groupes sociaux (les pasteurs notamment). C'est un travail physiquement dur [PEI91] ;

au Mali, c'est la pénibilité du travail qui est mise en avant et non le niveau de rémunération. 60% des charbonniers et 40 % des bûcherons pensent ne pas poursuivre longtemps l'activité par manque de moyen de transport et car le travail est difficile [CCL98] ;

au Sénégal, l'activité de charbonnage est généralement vue comme sale et rabaissante. L'exploitation est majoritairement faite par des migrants d'origine guinéenne. Certains Sénégalais pensent même que l'argent du charbon est sale [RIB98].

#### *2.4.3.3. L'exploitation du bois : une activité de diversification, complémentaire de l'agriculture*

Pour comprendre la logique de cette production, il faut garder à l'esprit qu'en dehors des bûcherons urbains envoyés par des grossistes dans les villages et qui tendent à disparaître, la grande majorité des exploitants sont avant tout des paysans. L'exploitation du bois de feu entre dans leurs stratégies de diversification des revenus de l'échelle de la famille, unité économique de base en milieu rural [BRO99].

L'agriculture en zone sahélienne est soumise à de nombreux aléas : les précipitations sont très irrégulières – la période de grande sécheresse qu'a connue cette zone dans les années 70-80 est une des meilleures preuves - ; les marchés locaux et internationaux des produits agricoles sont très instables – le cours du coton a chuté ces dernières années - ; le recours au crédit est difficile voire impossible. Ainsi, les paysans pour diminuer les risques n'ont-ils d'autres moyens que de diversifier leurs sources de revenus [MOL98].

Cette diversification peut prendre la forme d'un emploi dans d'autres exploitations agricoles ou chez les artisans locaux, d'une migration vers la ville ou vers les pays limitrophes (la Côte d'Ivoire pour nombre de Maliens par exemple), ou encore d'une activité marchande (la production de bois entre dans cette catégorie).

Les objectifs de la diversification varient essentiellement en fonction du niveau de richesse des familles. Pour les plus pauvres disposant de peu de terres, elle est une protection contre la famine. Les revenus des activités non agricoles sont dépensés au jour le jour pour des biens alimentaires. Pour la majorité des ménages elle permet également l'accès à des biens et services de commodité : habillement, dépenses sociales. Pour les plus riches, elle permet d'augmenter la productivité agricole par l'achat d'une charrette, d'engrais, d'animaux ou d'outils. Enfin, pour les mieux nantis elle est source de revenus supplémentaires. [BRO99, MOL98, CCL98]

La diversification est une stratégie dépendant à la fois de facteurs internes au foyer et d'opportunités extérieures.

**Parmi les éléments internes**, le capital et la main-d'œuvre disponibles sont les principaux déterminants. En l'absence de crédit, le capital conditionne la capacité à investir et la main-d'œuvre disponible conditionne le temps « libre » pouvant être consacré aux activités autres qu'agricoles. Les grands foyers comptant en général d'avantage d'hommes jeunes sont plus aptes à mener de nouvelles activités et à rechercher de nouveaux marchés que les petits. L'étude menée par la CCL au Mali [CCL98] montre que les familles de bûcherons sont en général des familles pauvres déficitaires en céréales. Elles ont peu de terres car souvent arrivées récemment dans le village. Ainsi, dans ces petits foyers ruraux qui sont également les plus pauvres, les travaux agricoles de subsistance laissent peu de temps pour d'autres activités. La coupe du bois de chauffe et l'activité de carbonisation se font de façon intensive en saison sèche dans presque tous les villages. En hivernage, la priorité est donnée aux activités agricoles, mais le bûcheronnage et le charbonnage ne s'arrêtent pas entièrement pour autant. Les femmes et les jeunes y jouent alors un grand rôle. Dans le bassin de Bamako, 65



% des bûcherons et charbonniers sont des femmes. Les hommes aident une partie de l'année tandis que les femmes exploitent pratiquement toute l'année. Dans les grands foyers, l'activité de charbonnage attire les jeunes qui y voient un moyen sûr et rapide de disposer de revenus individuels surtout pendant la saison sèche.

**Parmi les facteurs « extérieurs »**, la localisation par rapport au marché urbain est une donnée majeure. La proximité de la ville offre des opportunités en terme de commerce, d'artisanat ou de services proposés à la clientèle urbaine. Elle a donc un double effet : celui de rendre « possible » le commerce du bois à destination de la ville mais également de mettre ce commerce en compétition avec d'autres activités lucratives : la production de fruits et légumes, l'artisanat (sculpture, bijouterie ..), les métiers du bâtiment, etc ... L'étude menée par l'IDS au Niger montre par exemple que le village de Bargaja (500 hab) situé à 30 km de la ville Maradi ne compte que 8 vendeurs de bois sur un total de 62 actifs ayant des revenus non agricoles (25 commerçants, 13 artisans et 24 fournisseurs de services divers dont vendeurs de bois) [MOL98].

Enfin, un élément essentiel de l'activité de prélèvement est son degré d'insertion dans le marché des combustibles ligneux qui régit les échanges entre les consommateurs urbains finaux et les producteurs ruraux.

Les enquêtes filière réalisées jusqu'alors au Sahel ont mis surtout l'accent sur les quantités et les modes de transport plus que sur les logiques commerciales sous-tendant les échanges [RIB95, BUT01, CCL98, PEI91]. Il en résulte un grand nombre d'interrogations sur les facteurs économiques régissant le marché du bois : structure concurrentielle du marché, préférences des acteurs, règles de fixation des prix ...

Nous ne détaillerons pas les différentes filières possibles dans tous les pays ; le lecteur pourra se reporter aux nombreuses études en la matière. Nous présentons dans le chapitre suivant les deux filières dominant dans la plupart des pays.

## 2.5. La filière bois-énergie à usage urbain

### 2.5.1. Organisation verticale de la filière commerciale d'approvisionnement en bois des centres urbains

Par définition, une filière est une « suite de personnes en rapport les unes avec les autres, servant d'intermédiaires à une activité » (*Trésor de la Langue Française*).

Selon les pays, elle peut prendre des formes diverses en fonction des règles d'accès à la ressource, de l'offre de transport, de la disponibilité en main-d'œuvre et des organisations professionnelles en présence.

Malgré tout, deux formes tendent à dominer :

- la première encore majoritaire au Niger et au Sénégal est caractérisée par **la mainmise des commerçants-transporteurs sur la production primaire et l'approvisionnement des villes**. L'exploitation du bois est effectuée par des bûcherons salariés directement des camionneurs-commerçants qui sont envoyés en général dans des zones à fort potentiel ligneux. Ils chargent le bois ou le charbon de bois sur le lieu de coupe, le transportent jusqu'à la ville où il est revendu à des détaillants. Le produit est alors reconditionné pour une vente aux consommateurs finaux ;
- la seconde accorde **un rôle important au bûcheron paysan**. Elle tend à se généraliser au Mali, au Tchad et dans certaines zones du Niger. Elle peut se résumer ainsi : i) coupe de la ressource par des bûcherons paysans ; ii) carbonisation éventuelle et mise en sacs de 50 kg environ ou constitution de fagots de bois (5 à 6 kg) à proximité du lieu de coupe; iii) transport du bois ou du charbon jusqu'à un point de vente en bordure de route ; iv) vente par le producteur ou par un intermédiaire vendeur à des commerçants transporteurs ; v)

transport du combustible jusqu'en ville par différents moyens de transports : semi-remorque, camion, ou camionnette bâchée, voire charrette aux abords immédiats de la ville; vi) vente en ville à un détaillant qui le reconditionne ; vii) vente aux consommateurs urbains.

Certains acteurs intermédiaires peuvent également intervenir le long de cette chaîne:

- Le charbonnier non exploitant qui achète son bois à un bûcheron
- Le propriétaire rural de charrette qui loue ses services pour transporter la production jusqu'en bord de route
- Le vendeur « bord de route » qui stocke et vend la production de certains bûcherons moyennant un pourcentage sur la vente.

La Figure 12 décrit l'organisation verticale de ces deux principales filières. Elle synthétise les résultats de différentes études menées au Mali, au Niger et au Sénégal [ESM92, RIB95, CCL98, PEI91].



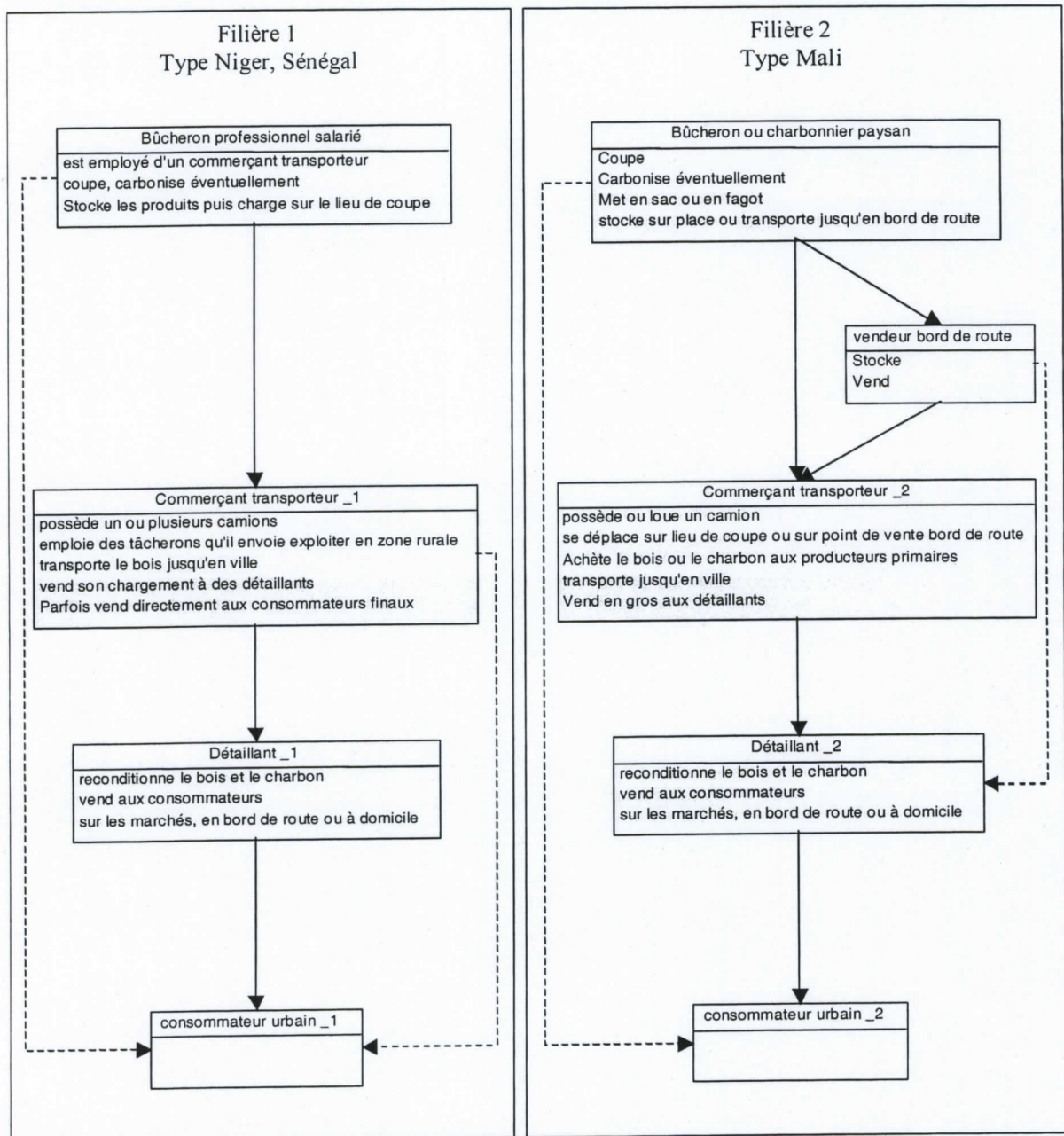


Figure 12 : Les deux grands types de filières bois-énergie au Sahel.

pourquoi pas de localisation de  
cabo! ?      => 7

La deuxième forme décrite ci-dessus est celle promue par les nouvelles politiques de gestion des ressources forestières en vigueur actuellement dans la plupart des pays sahéliens : Mali, Niger, Tchad, Burkina Faso, Mauritanie (Cf Encadré 1 ci-après).

#### Les Stratégies « Energie Domestique » des pays Sahéliens

Depuis le début des années 1990, la banque mondiale au travers de l'ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) aide à la définition des stratégies de développement et de la gestion des secteurs énergétiques des pays en voie de développement.

Au vu de la part prédominante de l'énergie domestique au Sahel, cette assistance s'est traduite par la définition de stratégies et le lancement de programmes d'actions spécifiques à ce secteur dans pratiquement tous les pays africains sub-sahariens.

On retrouve dans ces stratégies à caractère national des éléments récurrents et centraux qui forment la base d'une stratégie commune dite « Stratégie Energie Domestique » (SED).

La SED répond à deux objectifs de développement en matière d'énergie domestique :

- (a) au niveau de la demande : améliorer l'accès à l'énergie et son utilisation, notamment pour ses formes modernes;

- (b) au niveau de l'offre : faire en sorte que les modes d'approvisionnement en combustibles ligneux soient porteurs de développement économique et ne portent pas préjudice à l'environnement, à travers la gestion rationnelle des ressources forestières par les communautés rurales.

La SED s'articule autour de quatre axes fondamentaux :

- (a) proposer des matériels et des services diversifiés, performants et adaptés dans le domaine de l'énergie domestique, en s'appuyant sur les réseaux commerciaux existants et en favorisant la concurrence ;
- (b) assurer un réel transfert de responsabilité aux collectivités locales en matière de gestion des ressources naturelles, par une réforme de la réglementation de l'exploitation, du transport et du commerce des combustibles ligneux, et en leur apportant l'appui technique nécessaire ;
- (c) amener les prix des combustibles domestiques à des niveaux plus proches de leurs coûts économiques ;
- (d) assurer une coordination efficace des actions en mettant en place une organisation institutionnelle souple et légère.

D'un point de vue pratique, la SED s'appuie sur 4 grands types d'instruments :

- Un schéma directeur d'approvisionnement des villes permettant d'organiser et de planifier l'exploitation forestière sur des pas de temps d'environ 10 ans
- Une taxation différentielle des produits forestiers incitant les populations locales à participer à la gestion des ressources ligneuses et revalorisant économiquement le bois sur pied ;
- Un transfert de gestion des ressources ligneuses de l'Etat vers les communautés villageoises ;
- Une politique de commercialisation des combustibles de substitution.

Les villages désirant adhérer à cette stratégie doivent présenter à l'administration forestière un plan d'aménagement de leur ressource garantissant la durabilité de l'exploitation. Il leur est alors confié la gestion et la commercialisation de cette ressource au travers d'une structure officiellement reconnue : la Structure Locale de Gestion du Marché Rural de Bois.

Actuellement, le transport du bois est soumis à une taxe que les commerçants transporteurs payent sur la route ou aux entrées de villes. Afin de favoriser la commercialisation du bois provenant de ces marchés ruraux, la taxe peut dorénavant être payée directement sur le marché et cette même taxe est réduite de telle sorte que le prix d'achat du bois (taxe comprise) y soit inférieur à celui produit hors marché.

#### Encadré 1 : La stratégie Energie Domestique des pays sahéliens (sources ESMAP)

##### 2.5.2. Les acteurs majeurs de la filière

###### 2.5.2.1. Les bûcherons paysans ou charbonniers paysans

Ce sont des agriculteurs à la recherche de revenus complémentaires ou ayant à faire face à un besoin immédiat de liquidités. Ils ne consacrent donc qu'une partie de leur temps à cette activité. L'agriculture reste leur activité principale. Ils se rendent en brousse majoritairement à



pied et parfois en charrette. Ils exploitent manuellement à la hache. Ils constituent alors des fagots qu'ils vendent directement à certains commerçants sur le lieu de coupe ou ils transportent le bois jusqu'en bord de route soit pour le vendre eux-mêmes soit pour le confier à un vendeur.

Cette production autrefois dominée par les femmes se masculinise très fortement. Les raisons en sont multiples :

- les lieux de coupe sont de plus en plus éloignés des villages et l'effort nécessaire au transport des produits augmente en conséquence. Les femmes préfèrent alors laisser la tâche aux hommes ou aux adolescents.
- les diamètres demandés par les consommateurs urbains sont importants et la coupe en elle-même nécessite plus de force.
- le passage à une économie commerciale s'accompagne très souvent d'une exclusion progressive des femmes des secteurs où les marchandises acquièrent de la valeur.

Néanmoins, les femmes restent encore très présentes. Au Mali, elles représentaient en 1996 environ 60% des bûcherons ou charbonniers.

D'une manière générale, quel que soit le pays, cette activité est menée par les ménages ruraux les plus pauvres très souvent en situation de déficit alimentaire. Les revenus du bois ou du charbon sont utilisés en premier lieu pour l'achat de produits alimentaires.

#### *2.5.2.2. Les bûcherons (ou charbonniers) professionnels migrants ou salariés*

Les bûcherons migrants indépendants sont des ruraux ayant quitté leur village après la période d'activité agricole pour s'installer dans des zones à fort potentiel ligneux et qui se consacrent totalement à l'exploitation du bois. Ils n'exercent que 6 à 9 mois et retournent dans leur village lors de l'hivernage.

Les bûcherons salariés sont des tâcherons urbains embauchés dans les grandes villes. La plupart sont également des migrants venus chercher un travail. Ces migrants sont appréciés des commerçants transporteurs qui les emploie car ils n'ont pas de liens avec les ruraux des villages où ils viennent exploiter le bois ; ils sont très pauvres et sont ainsi très dépendants [RIB98, PEI91]. Leur employeur leur fournit des vivres, à titre d'avance remboursables sur la production, et les villageois n'ont avec eux aucune occasion d'échange. Ils n'exercent aucune autre activité, sont rémunérés à la tâche et sont soumis à un rendement minimum.

Les femmes ne sont pas présentes dans ce secteur d'activité.

Ces deux types d'acteurs tendent à disparaître dans la plupart des pays sahéliens au profit des bûcherons-paysans.

#### *2.5.2.3. Les vendeurs bord de route*

La plupart du temps la vente est confiée à une personne de la famille non rémunérée mais le vendeur peut parfois toucher une commission de l'ordre de 5 à 10% du montant de la vente.

La vente est majoritairement individuelle. Chaque vendeur ne représente qu'un exploitant.

Dans certains villages situés en bord de route et alimentés par de nombreux producteurs « primaires », on voit se développer des commerçants « sédentaires » pouvant acheter le bois à plusieurs bûcherons-paysans et vendant ce dernier à des transporteurs urbains. Ceux-ci sont encore très peu nombreux. De la même manière, certains gros producteurs, rachètent la production de collègues plus petits et commercialisent ainsi leur production.

#### *2.5.2.4. Les commerçants-transporteurs*

On rassemblera sous cette dénomination des grossistes possédant ou louant des engins motorisés (de la camionnette bâchée au semi-remorque) pour l'approvisionnement des points de vente au détail en ville.

Le profil des commerçants-transporteurs varie selon les pays et les formes de filières.

Au Niger ou au Sénégal, ces commerçants sont à la fois producteurs, transporteurs et grossistes. Ils possèdent à la fois la main-d'œuvre et des moyens de transports lourds. Ils vendent en gros le bois en ville à des détaillants qui stockent chez eux.

Au Mali, tous les commerçants ne possèdent pas leur propre moyen de transport. Ils adaptent leur mode d'approvisionnement en fonction des volumes à transporter. Ils peuvent s'associer pour louer de gros camions, s'assurant ainsi un remplissage optimal afin de diminuer les frais de transports. Les transporteurs auxquels ils font appel ne sont pas spécialisés. Ils transportent tout type de marchandise. Le bois leur assure parfois le frêt retour. Ces commerçants entretiennent des liens privilégiés avec les producteurs primaires (bûcherons ou charbonniers paysans).

Ces acteurs sont organisés en coopératives ou en fédérations puissantes pouvant faire pression à la fois sur les gouvernements et les producteurs primaires. Ils ont notamment les moyens de stocker de grosses quantités de bois en ville et de jouer sur le déstockage pour faire monter les prix à la vente ou de les faire baisser à l'achat.

#### *2.5.2.5. Les détaillants*

Les femmes ont le quasi monopole du commerce de détail des combustibles en ville. Les détaillants possèdent un ou plusieurs points de vente et certains livrent même à domicile.

Les points de vente sont installés sur les marchés de la ville ou en bord de route.

Les détaillants refendent le bois et ensachent le charbon par petite quantité avant de le mettre en vente pour les particuliers.

Selon leurs relations avec les grossistes ils peuvent acheter les produits à crédit, par paiement différé ou par paiements échelonnés.

Certains détaillants tentent également de s'approvisionner directement auprès des producteurs primaires. Ils utilisent alors individuellement des camionnettes bâchées ou se regroupent à plusieurs pour louer un camion.

#### *2.5.2.6. Le consommateur urbain*

Nous avons déjà effectué une description rapide des caractéristiques et des préférences des consommateurs urbains. Le lecteur est invité à s'y référer (chapitre 2.3.2.2.2)



### 3. Construction d'un modèle spatial de localisation des activités de prélèvement à caractère commercial

#### 3.1. Démarche

##### 3.1.1. La modélisation et ses objectifs

La question à laquelle nous tentons de répondre est la suivante : étant donné un marché urbain localisé, une ressource spatialisée et un ensemble de moyens de production également localisés (main-d'œuvre, moyens de transport, ...), **quelles sont les zones participant à l'approvisionnement de la ville et quelle est leur part dans l'offre globale ?**

L'objectif visé est donc la construction d'un modèle permettant de localiser les zones d'exploitation de bois et d'en mesurer l'intensité. Cependant, **le but recherché n'est pas de prédire précisément les quantités prélevées, mais de comprendre les déterminants de l'activité pour mesurer les différences d'attraction et de production au sein du même bassin d'approvisionnement.**

La position adoptée est de proposer un modèle d'attraction général<sup>14</sup> qui pourra être appliqué et affiné sur des situations régionales, notamment au Niger et au Mali. En ce sens, nous rechercherons **plus à mettre en évidence des régularités dans l'organisation spatiale de la chaîne d'approvisionnement qu'à décrypter des particularités régionales.**

regional

Ceci étant, cette analyse se situe dans un contexte de recherche appliquée. Le modèle proposé devra donc s'appuyer sur des paramètres facilement mesurables et quantifiables dans la plupart des pays sahéliens.

Une façon déterministe de répondre à la question précédente est de considérer que la ressource devient un flux, du seul effet mécanique de la demande urbaine et du coût de transport entre la ville et les zones potentielles de production.

Ce type de modèle d'attraction a été utilisé par Chomitz [CHO97] pour modéliser la pression de prélèvement autour de N'Djamena. Il correspond à une approche traditionnelle du problème de la localisation des activités dans laquelle les échanges ou les choix de localisation sont régis par des relations directes entre le consommateur final et le producteur de biens ou services :

oui  
N'oublie  
pas  
l'interaction

- D'une certaine manière, les modèles de von Thünen ou de Weber supposent que le producteur (agriculteur ou producteur) vend directement sa production sur le marché sans passer par des intermédiaires.
- Les modèles d'aire de chalandise « traditionnels » ne s'intéressent qu'aux marchés de détail et non pas aux marchés de gros intermédiaires. Ils ne prennent donc en considération qu'une partie de la chaîne d'approvisionnement et ne peuvent prédire la totalité des flux depuis la production jusqu'à la consommation.

Or, rares sont actuellement les systèmes de production ne possédant aucune activité intermédiaire entre celles d'extraction et celles de consommation. Tout système est composé d'une chaîne de production, d'une chaîne de transformation et d'une chaîne de distribution.

**La chaîne d'approvisionnement d'un marché en biens matériels est l'assemblage de ces trois éléments en série.**

Au sein même de ces chaînes et à leurs interfaces, interviennent des acteurs aux comportements et objectifs bien différents voire même contradictoires qui interagissent entre

<sup>14</sup> Au sens donné par R. Brunet : « Modèle ayant une vocation théorique et générale » [BRU80]



eux. Les flux de matières sont le résultat d'une série de choix : préférences du consommateur final envers un type de produit adapté à son mode de vie ; choix du détaillant pour optimiser l'implantation de son point de vente; choix du grossiste pour s'assurer une marge la plus forte possible; choix des producteurs pour exploiter à moindre effort ; etc ....

**Au modèle classique d'aire d'attraction traduisant une interaction directe entre le marché et les zones de production, nous proposons de substituer un modèle d'attraction structuré autour des échanges entre les différents acteurs de la filière.** Dans ce modèle, les interactions ne s'exercent plus directement entre producteurs et consommateurs mais le long d'une chaîne d'entités géographiques dont le dernier maillon est le centre urbain. (cf figure 12)

### 3.1.2. Démarche de construction

Comme nous le rappelions en fin de première partie, les quatre grandes questions actuelles en matière de modélisation de la localisation des activités sont : i) la prise en compte simultanée de l'offre et de la demande ;ii) l'intégration de l'hétérogénéité spatiale ;iii) la prise en compte de la dimension spatiale des entités géographiques en présence ;iv) la formation des ensembles de choix et les processus de combinaison des attributs spatiaux (distance, organisation) et non spatiaux.

La démarche de construction du modèle repose sur 4 grandes étapes :

A partir de l'analyse générale d'une des filières dominantes précédemment décrites, nous établirons, dans un premier temps, les bases formelles d'un modèle d'interactions spatiales prenant en compte les différents acteurs de la filière.

Puis, une analyse géographique de la filière permettra de préciser l'organisation générale du bassin d'approvisionnement et de caractériser les différentes entités géographiques en interaction ainsi que les infrastructures supportant les échanges (routes, pistes ...).

Une analyse conjointe des choix des principaux acteurs : grossistes et paysan-bûcherons permettra de mettre en évidence leurs stratégies de localisation<sup>15</sup> et de formuler des hypothèses quant aux facteurs pris en compte dans leurs décisions. Le rôle de la distance et de l'organisation spatiale des entités sera particulièrement étudié.

Enfin, les stratégies de localisation seront traduites en terme de paramètres mesurables directement ou indirectement au niveau des entités géographiques considérées. Nous proposerons alors une formalisation finale du modèle d'attraction.

La filière « bois-énergie » de référence, sur laquelle repose le modèle développé, est celle du bassin de Bamako au Mali. Cependant, pour conforter et vérifier les hypothèses avancées, nous nous sommes également appuyés sur des données provenant d'autres pays sahéliens, notamment du Niger, du Tchad, du Soudan et du Sénégal.



<sup>15</sup> On entendra par localisation, les lieux de production mais également les lieux de vente en gros visités par les grossistes.



### **3.2. Présentation du bassin d'approvisionnement de Bamako et des données utilisées**

#### **3.2.1. Présentation générale du bassin**

##### *3.2.1.1. Situation géographique et étendue du bassin*

Le Mali est un pays africain enclavé, situé entre les parallèles 10° et 25°10' Nord et les méridiens 12°20' Ouest et 4°20' Est. Sa superficie est de 1 240 710 km<sup>2</sup>. Il a des frontières communes avec 8 pays : la Mauritanie et l'Algérie au Nord, avec le Niger à l'Est et Sud-Est, avec le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire au Sud, avec la Guinée au Sud-Ouest et avec le Sénégal à l'Ouest.

La capitale Bamako, se situe dans partie Sud Ouest du pays, au bord du fleuve Niger. Elle concentre plus de 1 millions d'habitants soit environ 10% de la population nationale estimée à 10 millions d'habitant en 1998.

D'après les enquêtes menées par la CCL en 1996, le bassin d'approvisionnement en bois énergie couvre un cercle d'environ 200 km de rayon autour de Bamako.

##### *3.2.1.2. Climat*

Le Mali présente un gradient climatique Nord Sud extrêmement marqué. Le climat est déterminé par la présence au Nord de la masse d'air tropical et continental du Sahara (sèche et chaude) et au sud la masse d'air équatoriale et maritime (humide et relativement fraîche). Le climat est ainsi marqué par l'alternance d'une longue saison sèche (5 mois au Sud et 9 mois au Nord) et une saison des pluies (7 mois au Sud, 3 mois au Nord et environ 4 mois à Bamako). Les précipitations annuelles varient de 1500 mm dans le Sud-Ouest à moins de 50 mm dans l'extrême Nord. Il y a environ 80 jours de pluie à Bamako, 50 à Mopti et 25 à Tombouctou.

Le bassin d'approvisionnement de Bamako recouvre quatre grandes zones climatiques :

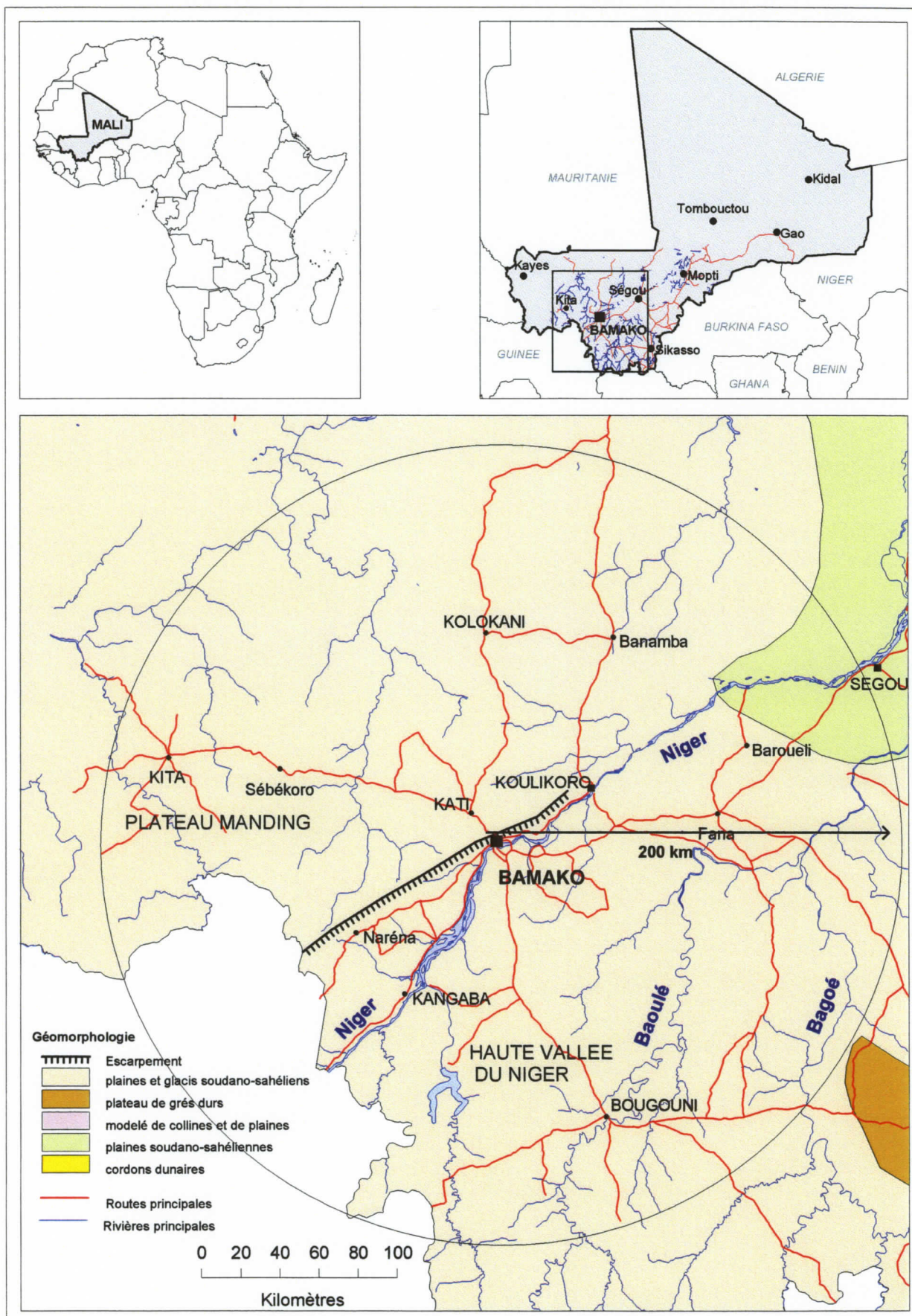
- un climat de type sud sahélien, entre les isohyètes 400 et 600 mm.
- un climat de type nord-soudanien entre les isohyètes 600 et 800 mm,
- un climat de type sud-soudanien, entre les isohyètes 800 et 1 200 mm,
- un climat de type soudano-guinéen dans la zone sud qui reçoit plus 1 200 de pluie par an en moyenne.

La saison des pluies se situe de juin à octobre. La saison sèche se divise en une saison froide de novembre à fin février et une saison chaude de mars à mai.

Le Mali, comme d'autre pays du Sahel, a subi depuis les années 1970 une sécheresse exceptionnelle. Cette dernière se traduit par un raccourcissement de la longueur de la saison des pluies et surtout par une réduction du nombre de jours de pluie avec, en conséquence, des périodes sèches plus marquées entre les précipitations. Ces sécheresses chroniques provoquent de profondes modifications du couvert végétal naturel et une forte dégradation du capital ligneux surtout dans la partie nord de la zone.

La baisse de la pluviométrie durant ces vingt dernières années atteint environ 200 mm au niveau de Bamako (source AGRHYMET 2002).





**Carte 1 : Plan de situation du bassin d'approvisionnement de Bamako**



### 3.2.1.3. Relief, géomorphologie et pédologie

Trois grands types de reliefs structurent le bassin.

*L'ouest et le nord* correspondant à la haute vallée du Sénégal, sont dominés par un plateau de grès durs à 500 m d'altitude en moyenne : le plateau Manding. Le relief est très morcelé. Il correspond à un ensemble de plateaux cuirassés, de pendage sud ouest – nord est régulier, fragmentés par des vallées. Ses parties ouest et sud se terminent par des escarpements marqués dominant la vallée du Haut Niger. Sur ces plateaux, les sols sont caractéristiques de cuirasses latéritiques, peu à moyennement profonds, gravillonnaires, à faible potentiel de production.

*Le sud du bassin*, correspondant à la Haute vallée du Niger, est traversé par le Niger et deux de ces principaux affluents : le Baoulé et le Bagoé. Le relief se caractérise par un modelé de collines et de plaines dont les ondulations vont en s'aplatissant vers le nord et l'est (Ségou).

*Le centre et l'est* sont des régions de plaines soudano-sahéliennes et de petites collines. Sur les pentes peu marquées, se développent des glacis d'érosion tandis que sur les sommets des cuirasses ferrugineuses couvrent souvent les terrains. Dans ces ensembles de dépressions, on trouve des sols de plaine à matériaux limoneux, profonds, à haut potentiel de production mais également, des sols de plaine à matériaux limono-sableux, en général acides et à faible potentiel de production.

*Dans l'extrême nord du bassin* un ensemble de cordons dunaires recouvre la plaine du haut bassin du Sénégal. Les sols de dunes sableuses y dominent. Ils sont profonds, à bon drainage et à potentiel de production moyen à faible.

### 3.2.1.4. Végétation et formations ligneuses

Selon, l'inventaire des ressources ligneuses au Mali (PIRL) mené en 1991 on distingue trois grandes zones bioclimatiques réparties en fonction de la pluviométrie [PIR91]:

*Au nord du bassin*, **la zone sahélienne** couvre 5% du bassin. Elle présente une pluviométrie inférieure comprise entre 400 et 600 mm/an. La végétation est caractérisée par des steppes arbustives ou arborées et des brousses tigrées. C'est traditionnellement une grande zone d'élevage transhumant. L'agriculture se limite aux bords du fleuve Niger et dans le delta intérieur du Niger, zone propice à l'irrigation ou aux cultures de décrue.

*Plus au sud*, **la zone soudano-sahélienne** dont la pluviométrie est comprise entre 600 et 1200 mm/an couvre 80% du bassin. Sa végétation est caractérisée par des savanes arbustives et arborées de plus en plus dense au fur et à mesure que l'on descend vers le sud. Cette région renferme la majorité de la population malienne et les principales villes maliennes de Bamako, Segou, Kayes et Koulikoro.

*Enfin, à l'extrême sud du pays*, **le domaine soudano-guinéen** où la pluviométrie devient supérieure à 1200 mm/an (jusqu'à 1400 mm), couvre 15% du territoire. La savane arbustive fait place à des savanes arborées ou boisées et des forêts claires à *Isoberlinia doka*

**Dans le bassin de Bamako, les formations forestières et assimilées occupent 47.5 % du territoire**, soit 59710 km<sup>2</sup>. Les terres cultivables représentent 35 % du territoire. Elles se décomposent en terrains de culture et en vergers. Le reste, soit 18 % du territoire, est constitué de terres de pâturages, de zones inondables (delta intérieur du Niger) et de terres incultes.

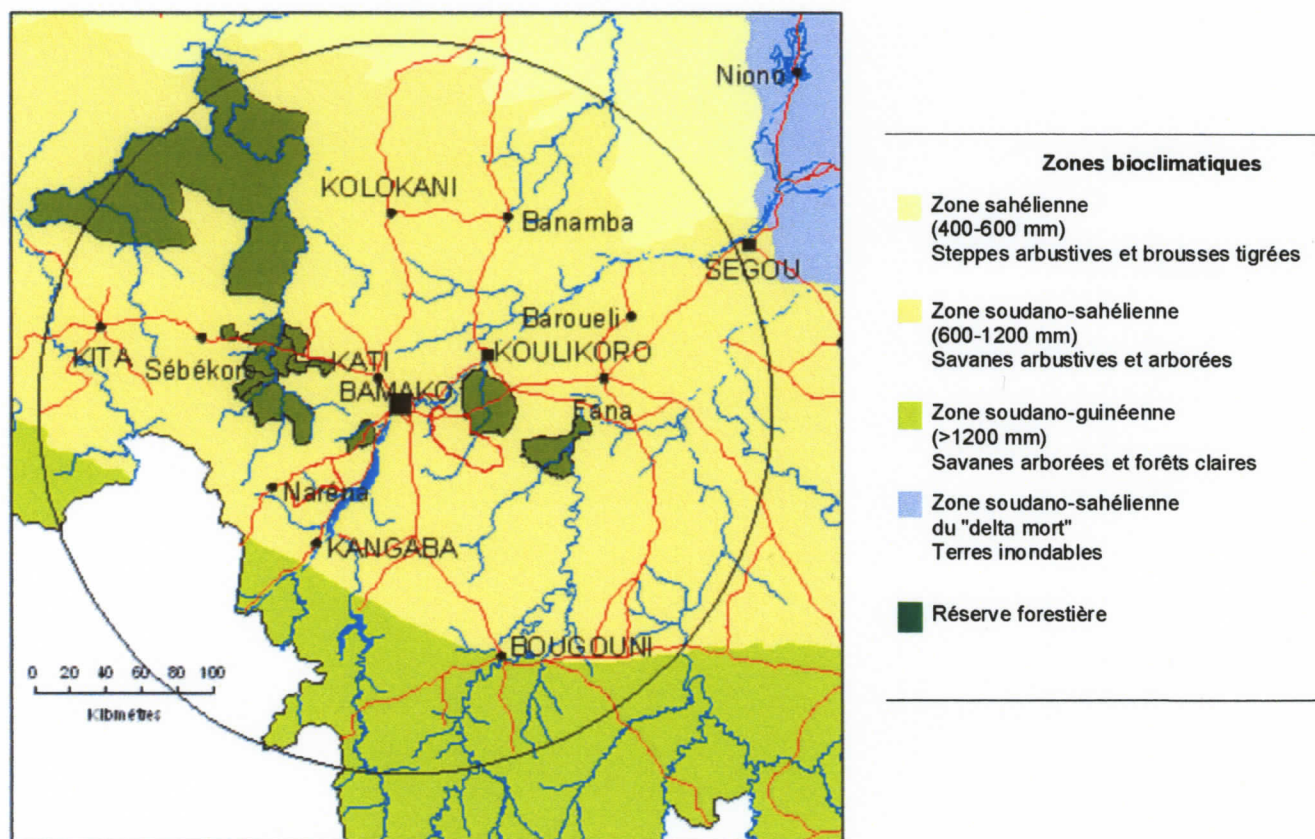


	Cultures et jeunes jachères	Vergers et parcs arborés	Savanes et formations forestières	Autres	Total
Surface (km <sup>2</sup> )	17040	26817	59710	22096	125663
Pourcentage (%)	13.5 %	21.3 %	47.5 %	17.7 %	100 %

**Tableau 7 : Occupation des sols dans le bassin de Bamako (Source PIRL 1991).**

Tout autour de Bamako, ont été instaurés de grands périmètres faisant partie du domaine classé de l'Etat : Parc national de la boucle du Baoulé, réserve de Kéniébaoulé et forêts classées de la Faya, de Soussan, des Monts Mandingues, etc .... Ces zones datent pour la plupart du début du siècle. Elles ont été mises en place par l'administration coloniale française et étaient destinées à la fourniture en bois des principales villes (Bamako et Kita) et à l'approvisionnement en combustible des locomotives et des bateaux à vapeur. Ces périmètres ont alors fait l'objet de reboisements massifs en essence à croissance rapide : Eucalyptus, pins, filao ... [BEC01].

Dans ces espaces, l'installation des populations est interdite, les défrichements sont interdits sauf dans le cas d'enrichissement en essences de valeur, le droit de pâturage est très restreint et l'exploitation des ressources forestières est soumise à un contrôle très strict de l'Etat et à une redevance fixée par la loi (Code forestier malien – Loi N°86-42/AN-RM).



**Carte 2 : Zones bioclimatiques et végétation dominante du bassin de Bamako**



### 3.2.1.5. Le peuplement humain

Le bassin d'approvisionnement de Bamako est essentiellement occupé par les ethnies Bambara, Malinké, Peul et Sarakolé. Les deux premières étant majoritaires.

Les Bambaras et les Malinkés sont réunis au sein du groupe plus général des Mandingues. Ils ont une tradition d'agriculture sédentaire basée sur le mil. Leur hégémonie dans cette région date du XVII<sup>e</sup> siècle où, à travers le royaume Bambara, ils assoient leur pouvoir tout le long du fleuve de Bamako à Tombouctou.

Les Peuls sont à l'origine un peuple de pasteurs nomades venant du Nord du pays (Djenné) et fondent leur existence sur l'élevage bovin. Cependant, la tendance à la sédentarisation est générale. L'est du bassin (région de Korokoro) est une zone de fort peuplement sédentarisé.

Les Sarakolés étaient jadis des guerriers et des voyageurs. Originaires du Nord Ouest du pays (Nara, Niono) où ils sont majoritaires, ils sont essentiellement commerçants et colporteurs et sont présents dans pratiquement tous les villages.

Le dernier recensement général au Mali date de 1998 mais les données ne sont pas encore publiées officiellement pour tout le territoire. La population totale du bassin de Bamako représente environ 3 millions de personnes dont un tiers dans la capitale.

	Recensement de 1987	Recensement de 1998	Taux de croissance annuel
Pop. totale du Mali	6 400 000	9 800 000	2.2 %
Pop. du bassin de Bamako	2 200 000*	3 000 000*	3.0 %
Population de Bamako	660 000	1 000 000	4.4 %

Sources : RGP 1987, RGP 1998, \* : estimations DNSI 1997

**Tableau 8 : Population du bassin d'approvisionnement de Bamako.**

L'habitat est majoritairement groupé bien que certaines zones, notamment dans l'ouest, présentent des tendances à la dispersion.

Les villages compris dans l'aire d'approvisionnement potentielle (cercle de 200 km de rayon autour de Bamako) ont des tailles relativement petites : 96% de ces villages ont une population comprise entre 165 et 3000 hab. La taille médiane est de 530 habitants.

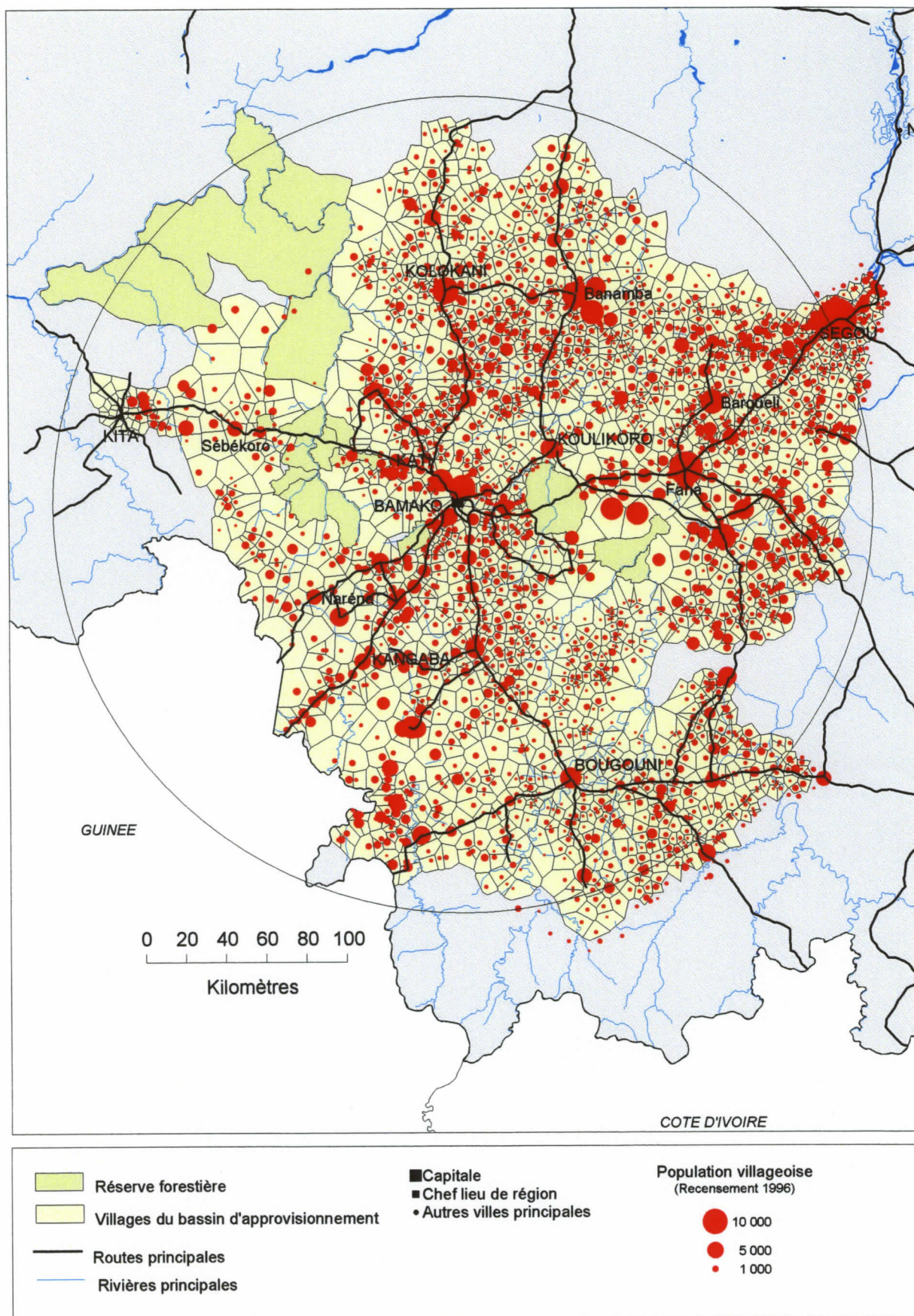
D'une manière générale, la densité de population est plus forte autour des axes de communication et aux abords immédiats de Bamako. Les villages les plus importants ont également tendance à se situer autour des voies de communication. En conséquence, la surface moyenne des villages augmente en s'éloignant de la ville et des principales routes<sup>16</sup> (cf Carte 3).

La répartition des villages dans le bassin présente une nette dissymétrie est/ouest :

- l'est se caractérise par un grand nombre de villages de petites tailles, faiblement peuplés, et répartis de manière homogène ;
- à l'ouest, le nombre de villages est beaucoup plus faible, les tailles de ces derniers sont plus grandes et leurs populations plus importantes. Ils se concentrent très fortement autour de la ville de Kita et des axes de communications Bamako-Kita ou Bamako – frontière guinéenne.

<sup>16</sup> La délimitation des villages est inexistante au Mali. La surface des villages a été estimée grossièrement en construisant les polygones de Voronoï associés aux centres des villages. La population n'a pas été considérée dans cette construction. Le diagramme obtenu est purement géométrique et suppose que la limite entre deux villages correspond à la médiatrice du segment reliant leurs centres.





**Carte 3 : Répartition spatiale de la population du bassin de Bamako.**



### 3.2.1.6. *Le réseau de communication*

Le réseau routier est constitué de routes bitumées (à peine 5% du réseau total au Mali), de routes en terre, de pistes dites améliorées, praticables en permanence et de pistes saisonnières difficilement praticables en saison des pluies.

Les vitesses de progression et les coûts de transport varient du simple au double selon le type de voie. Les tarifs officiels maliens de transport de fret étaient en 1985 de 0,030 € HT /tonne/km sur une route bitumée, de 0,045 € HT / tonne /km sur une piste améliorée et de 0,060 € HT / tonne /km sur une piste saisonnière [TRA85].

A partir de Bamako, le réseau routier principal a une structure radiaire. Il est très faiblement ramifié et n'est pratiquement pas maillé (cf Carte 4). Le maillage est assuré par un grand nombre de pistes saisonnières en terre permettant les liaisons entre les différents villages.

D'une manière générale, le réseau routier des pays sahéliens est peu développé. La densité de routes bitumées y est la plus faible au monde (0,05 km par km<sup>2</sup>). Ces pays ayant pour caractéristique principale d'être enclavés, les routes principales y ont été tracées essentiellement pour assurer le drainage des marchandises depuis et vers les ports les plus proches. Ainsi au Mali, les routes vers Abidjan, ou au Niger vers Cotonou, sont les infrastructures routières les plus modernes et les mieux entretenues de ces pays tandis que dans le même temps de nombreuses autres régions ne sont desservies que par des pistes de mauvaise qualité.

Le bassin de Bamako présente une nette dissymétrie sud-est/nord-ouest dans l'état et le nombre de routes :

l'est et le sud du bassin sont traversés de nombreuses routes en bon état alors que tout le secteur ouest et le nord souffrent d'un réseau très peu dense de pistes améliorées (praticables en permanence) ou de pistes saisonnières (difficilement praticables en saison des pluies).

Ce déséquilibre tire son origine dans l'histoire coloniale du pays et dans ses relations avec les pays voisins. A l'époque coloniale, le réseau de communication a été conçu sur la complémentarité entre la voie ferrée venant de Dakar (Sénégal), le fleuve Niger qui traverse le bassin d'est en ouest et un réseau de pistes reliant les capitales régionales (les cercles): Bamako, Koulikoro, Ségou, Kayes, Sikasso, Mopti. En 1960, au moment de l'indépendance, la frontière avec le Sénégal a été fermée. Le pays a alors favorisé le développement des axes vers le sud et le sud-est en direction du port d'Abidjan, seule alternative d'alors au débouché maritime qu'offrait Dakar.

Le transport fluvial régressant, le réseau routier s'est également développé en direction des principales villes de l'est malien : Ségou, Mopti, Tombouctou.

Cette situation est en partie en cours de rééquilibrage puisque les axes vers le Sénégal (Bamako – Kayes) et la Guinée (Bamako – Narena) sont en cours de bitumage.

6 axes routiers principaux irriguent la capitale :

- l'axe de Ségou est une route goudronnée en bon état traversant tout le pays d'ouest en est jusqu'à Gao. Cet axe reçoit également au niveau de Ségou, le trafic venant de Côte d'Ivoire (Abidjan) et du Burkina Faso (Bobo Dioulasso)
- l'axe de Bougouni est une route goudronnée en très bon état desservant la deuxième ville du pays (Sikasso, 110 000 hab) et permettant également de rejoindre la Côte d'Ivoire.

**Ces deux axes concentrent à eux seuls, près de 80% du trafic routier de marchandises du pays**



- l'axe de Koulikoro dessert les villages le long du fleuve jusqu'à Banamba et Niamina. Goudronné jusqu'à Koulikoro, il prend la forme d'une route en terre jusqu'à Banamba et d'une piste saisonnière jusqu'à Niamina. Cet axe est globalement en bon état.
- l'axe de Kolokani, qui rejoint l'axe de Kita au niveau de Kati est une route en terre mais en bon état qui est en cours de revêtement.
- l'axe de Kita, est une piste « améliorée » en mauvais état qui longe la voie ferrée.
- les axes de Narena et de Kangaba vers la frontière guinéenne sont des pistes améliorées en mauvais état. La piste de Narena est en cours de réfection et de goudronnage.

Le chemin de fer constitue également une voie importante de communication. Il relie Dakar à Bamako en passant par Kayes, Kita et Kati.

Le fleuve est navigable de la frontière guinéenne à Bamako et de Koulikoro (terminus de la voie ferrée) jusqu'à Gao pendant 5 à 6 mois de l'année. Les chenaux de navigation sont en mauvais état et ont tendance à s'ensabler.

Globalement, les routes concentrent 80% du trafic de marchandise. Sur les seuls axes reliant la Côte d'Ivoire, on totalise un trafic de plus de 1500000 tonnes (Chiffres 1999). Le chemin de fer quant à lui assure 550000 tonnes de marchandises soit environ 20% du trafic.

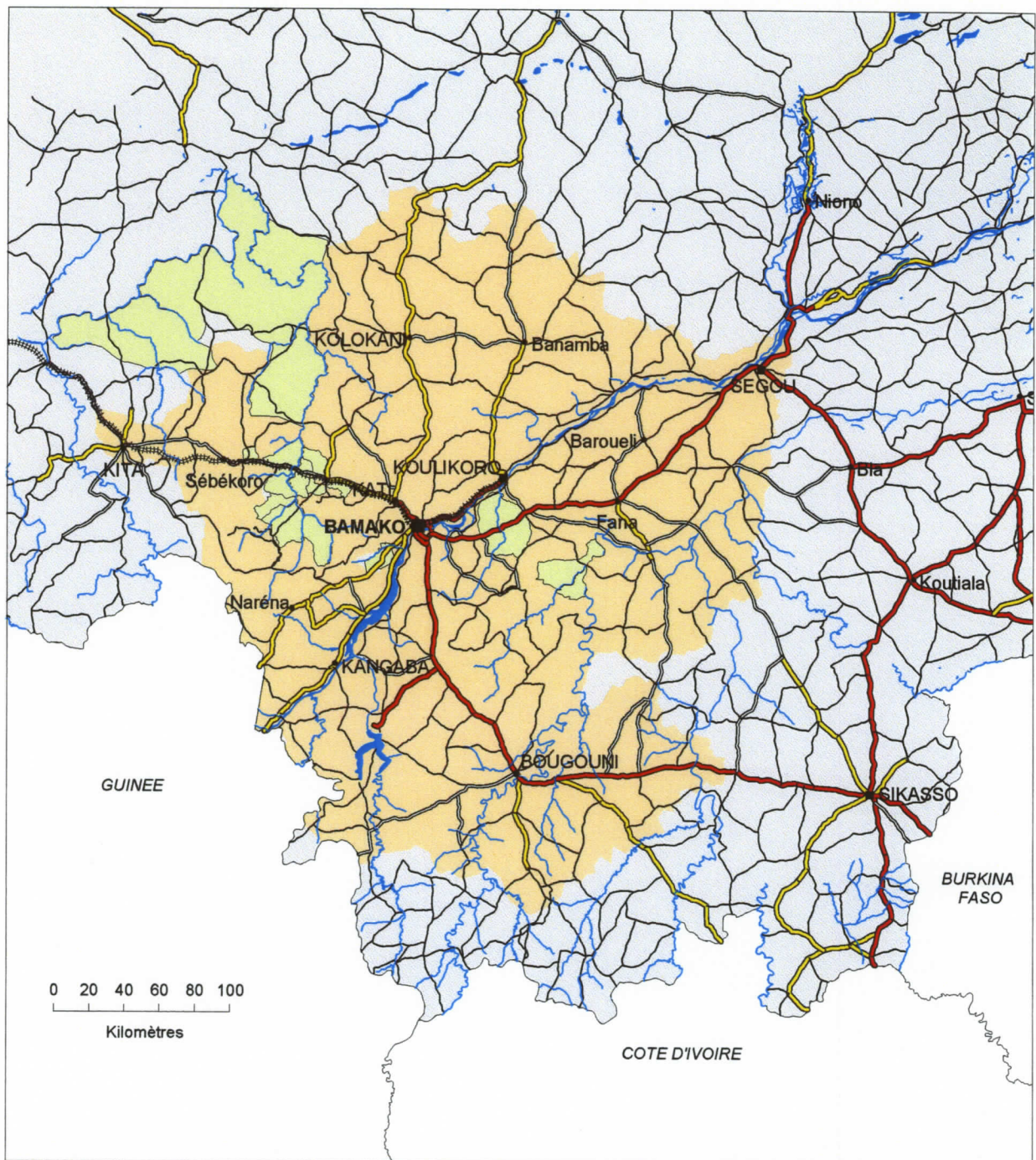
La navigation fluviale est devenue presque anecdotique avec environ 12000 passagers par ans et seulement 9000 tonnes de fret.

### 3.2.2. Les activités agricoles

Les systèmes de production agricoles sont assez nettement différenciés du nord au sud de la zone (cf Carte 5):

- *dans la partie nord*, la céréaliculture pluviale extensive constitue la base des systèmes de production agricole. La culture du mil (petit mil) et du sorgho (grand mil) y domine, associée au niébé. Les systèmes de culture deviennent de plus en plus extensifs vers le nord avec l'augmentation des risques climatiques.
- *dans la partie sud*, la culture du sorgho domine, le maïs et l'arachide se développent. Les cultures de rente, en particulier coton et tabac y sont développées à travers la Compagnie Malienne des Textiles (CMDT) et l'OHVN. Ces structures étatiques tendent à promouvoir des techniques de production plus intensives par l'utilisation de la culture attelée, l'apport d'engrais et de pesticides. L'association agriculture-élevage est ici fortement développée.  
L'est de cette zone concentre plus de 50% des effectifs en bovins.
- *dans la partie centrale*, le mil et le sorgho sont cultivés de pair ou en alternance avec l'arachide et le coton.
- *dans la zone du fleuve et à proximité de Bamako*, les systèmes de production se spécialisent vers la riziculture intensive (périmètre rizicole de Baguineda, zone PRBORS), le maraîchage et l'arboriculture (Koulikoro et Baguineda).



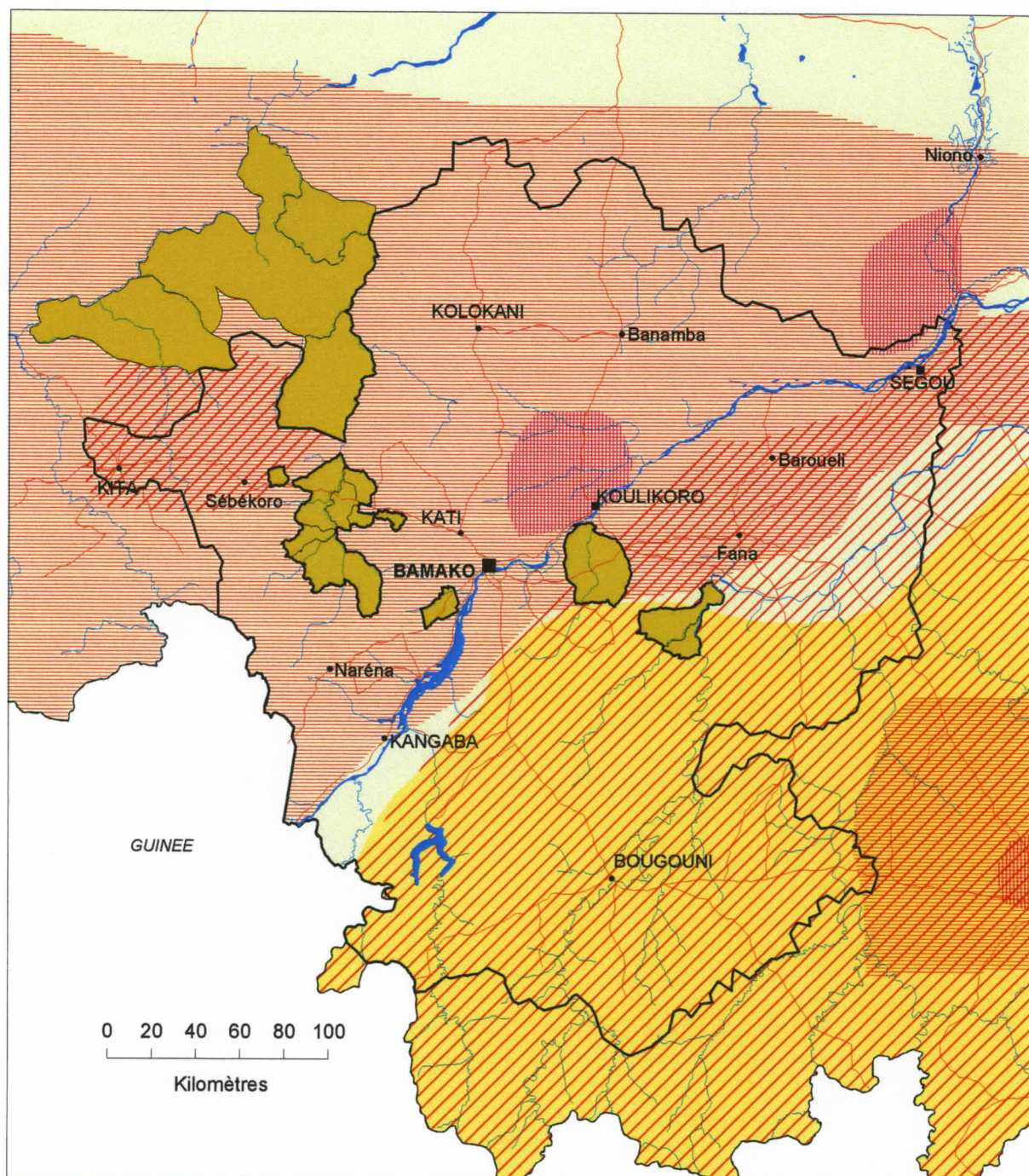


**Légende :**

<b>Réseau ferré</b>	
----- Voie ferrée	
<b>Réseau hydrographique</b>	
— Rivière principale	
<b>Réseau routier</b>	
— Route asphaltée	
— Route non asphaltée	
— Piste améliorée	
— Piste temporaire	
	■ Bassin d'approvisionnement (D = 240 km)
	■ Réserve forestière
■ Capitale	
■ Chef lieu de cercle	
• Autres villes principales	

**Carte 4 : Organisation des voies de communication (routes, voie ferrée et fleuve).**





**Légende :**

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #808000; border: 1px solid black;"></span> Réserve forestière | <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Capitale                  | <b>Cultures vivrières</b>   |
| <span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 2px solid black;"></span> Bassin d'approvisionnement                           | <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Chef lieu de région       | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #d4edda;"></span> Millet - sorgho                          |
| <span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px solid blue;"></span> Rivières principales                                  | <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Autres villes principales | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #fff3cd;"></span> Maïs - sorgho                            |
| <span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px solid red;"></span> Routes et pistes principales                           |   | <b>Cultures commerciales</b>  |
|  |   | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #fff3cd; border: 1px solid red;"></span> Coton             |
|  |   | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #fff3cd; border: 1px solid red;"></span> Arachide          |
|  |   | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #fff3cd; border: 1px solid red;"></span> Fruits et légumes |

**Carte 5 : Les principaux systèmes de culture du bassin de Bamako . (Source : Atlas de l'Afrique 2000 [JA00]).**



### 3.2.3. Les prélèvements en bois-énergie

#### 3.2.3.1. La consommation urbaine et rurale

La consommation de la ville de Bamako était estimée en 2000 à 316 000 tonnes de bois de feu et 65 000 tonnes de charbon de bois. Ce qui correspond à un prélèvement de près de **800 000 tonnes d'équivalent bois**. Ce prélèvement s'effectue essentiellement dans les savanes boisées et arborées.

L'autoconsommation rurale du bassin a été estimée en 1994 à **1,4 millions de tonnes**, sur la base d'une consommation annuelle variant de 0,75 à 1,3 m<sup>3</sup> par personne.

Année	Bois de feu (T/an)	Charbon de bois (T/an)	Total (T équivalent bois)*
1989	305 000	15 000	410 000
1994	328 000	38 000	594 000
2000	316 000	65 000	771 000
Taux moyen annuel d'accroissement	1,5%	20,4%	7,7%

- 1 kg de charbon de bois = 7 kg de bois  
Sources : Enquêtes filières CCL 1989, 1994 et 2000

Vent No ?

Tableau 9 : Evolution de la consommation en bois-énergie de Bamako entre 1989 et 2000.

#### 3.2.3.2. La filière dominante

L'exploitation primaire du bois-énergie est aujourd'hui réalisée majoritairement par des paysans-bûcherons exploitant les ressources de leur terroir. Jusqu'en 1990, cette exploitation était en grande partie assurée par des bûcherons salariés employés par les commerçants-transporteurs.

Les camions représentent 40% du transport de combustible. Pour le bois, la part des camions semi-remorques tend à diminuer, tandis que celle des camionnettes bâchées augmente. Pour le charbon de bois, la tendance est exactement inverse, signe du développement de l'activité.

Les enquêtes socio-économiques réalisées par la CCL en 1994 permettaient d'évaluer le nombre d'actifs de ce secteur participants à l'approvisionnement de Bamako à environ 15 000 bûcherons et plus de 5 000 charbonniers. Au vu des derniers chiffres sur les quantités produites en l'an 2000, le nombre de charbonnier a vraisemblablement doublé.

Dans les villages concernés, les activités de bûcheronnage ou de charbonnage sont très importantes : elles concernent en moyenne plus d'une famille sur deux.

#### 3.2.3.3. Les pressions agricoles sur la ressource ligneuse

La population rurale croît à un rythme voisin de 2% par an. L'extension des cultures de céréales qui en résulte exerce une forte pression de défriche sur la ressource forestière.

Dans le sud et dorénavant dans le quart nord-ouest de la région, le développement de la culture du coton ouvre également de nombreux fronts de défrichement.

Sur l'ensemble de la zone, les durées de jachères ont diminué de moitié en dix ans. Ce changement de pratiques agricoles renforce la pression exercée sur les ressources ligneuses.



### 3.2.4. Données utilisées et traitements effectués

#### 3.2.4.1. La source principale : l'enquête CCL 1994

La principale source exploitée est une enquête Origine/Destination (OD) du bois-énergie dans le bassin d'approvisionnement de Bamako. Elle a été réalisée par la CCL en 1994 lors de la réalisation du « schéma directeur d'approvisionnement en bois-énergie de Bamako ». Son mode opératoire a consisté à recenser et mesurer les quantités de bois de feu et de charbon de bois entrant dans Bamako pendant une période de sept jours consécutifs.

Afin de valider et critiquer ces données, des enquêtes et interviews complémentaires ont été réalisées sur le terrain par l'auteur et N. Fauvet (CIRAD) en 2001 et 2002 auprès des cadres de la CCL, des autorités forestières, des producteurs de 5 villages de l'est de Bamako et des acheteurs familiers de 2 points de vente importants (Korokoro et Markacoungo). Ces compléments d'information avaient pour principal objectif de mieux connaître les préférences des acteurs notamment les stratégies des acheteurs et des vendeurs, les motivations des bûcherons

Après analyse, il apparaît que cette méthode introduit deux biais majeurs :

- les variations saisonnières, voire hebdomadaires sont très importantes. L'activité de bûcheronnage est très liée à l'activité agricole. De plus, comme nous le verrons par la suite, la vente de bois est parfois réalisée au niveau de point de vente hebdomadaires (marchés). Les résultats de cette enquête ne sont donc que très ponctuels et difficilement extrapolables à l'ensemble de l'année. Néanmoins, faute d'autres informations, nous les considérerons comme des valeurs moyennes extrapolables à l'année.
- l'autre biais provient de la difficulté d'identification du village de provenance. L'enquête est réalisée aux entrées de la ville et donc auprès des transporteurs. D'une part, les chargements peuvent contenir du bois de plusieurs provenances et d'autre part, le lieu d'achat du bois n'est pas toujours le lieu de production. Dans les résultats de l'enquête, les « villages d'origine » correspondent donc soit à des villages de production, soit à des points de vente.

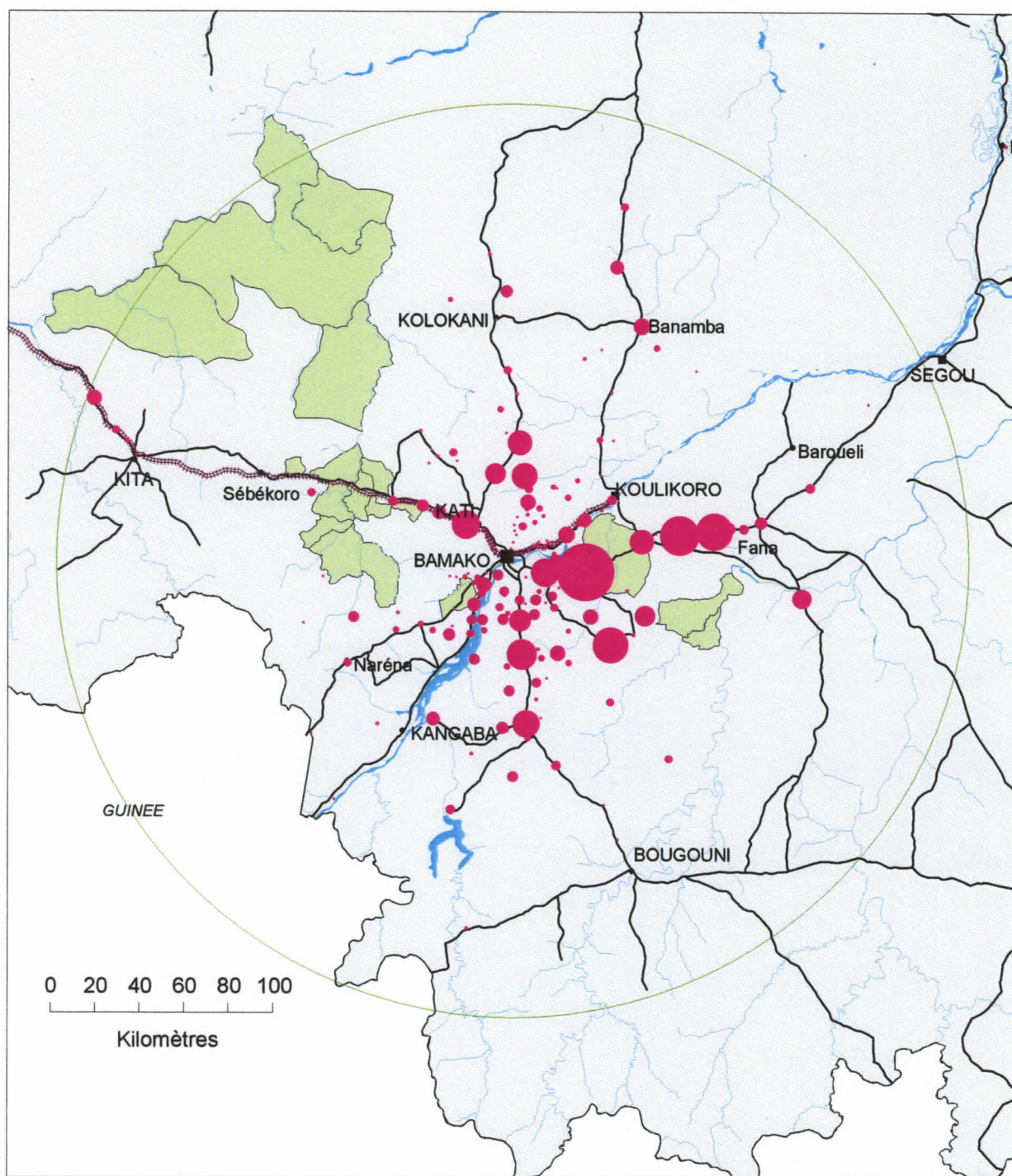
A l'origine, la CCL n'a pas exploité cette enquête à l'échelle des villages mais a agrégé les résultats au niveau des grands axes de communication et des arrondissements (entité administrative équivalente à nos départements). L'enquête permet néanmoins de recenser 187 villages exportant du bois vers la capitale.

Notre travail a consisté à : localiser ces villages sur carte ; enrichir ces informations au moyen de sources connexes (RGP, PIRL, ...) ; les préciser, voire les critiquer et surtout effectuer les traitements géographiques et statistiques nécessaires à l'analyse (calculs de distance, d'accessibilité, identification des points de vente ...).

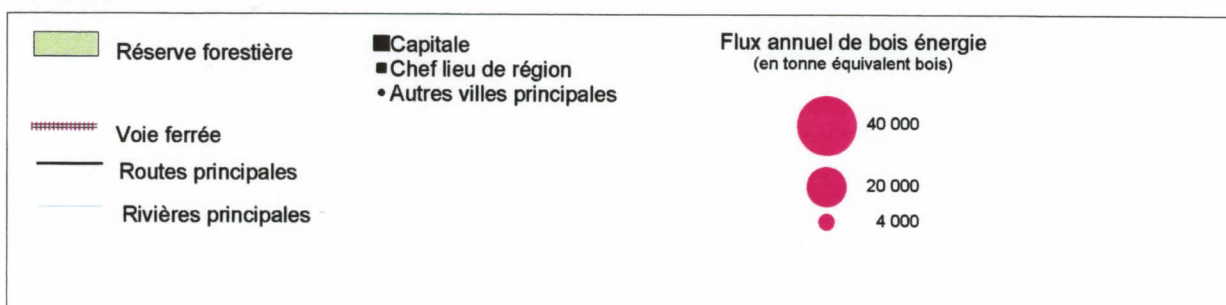
Les données cartographiques numériques de base sont issues en majeure partie du DCW (Digital Chart of the World). La liste des villages, leur localisation et leur population (recensement 1996) proviennent d'une source officielle malienne : Primature – Mission de décentralisation – République du Mali. Ces sources ont été amendées et corrigées par nos soins à partir des cartes topographiques disponibles au 1/2000000° (mises à jour de 1980 à 1986) et au 1/2000000° (mise à jour 1993).

La Carte 6 présente les villages identifiés ainsi que les quantités de bois (bois de feu + charbon) exportées à l'échelle de l'année (extrapolation).





**Légende :**



**Carte 6 : Exportations annuelles de bois-énergie (T/an) dans le bassin de Bamako [Source : Enquête CCL 1994].**



#### 3.2.4.2. Les autres enquêtes « filière » à des échelles régionales

Trois autres sources majeures ont également été utilisées : le « schéma d'approvisionnement en bois énergie de la ville de Niamey » au Niger [PEI91]; le « rapport sur l'étude du secteur des combustibles forestiers du Mali » [TRA85] ; et la thèse de J.C. Ribot sur la filière charbon de bois du bassin de Dakar [RIB90].

Ces documents présentent un grand nombre de résultats et de données brutes sur l'organisation et l'économie des filières de bois à des échelles régionales. Ces informations ont été « revisitées » et analysées de manière à conforter les hypothèses issues de l'analyse des données de Bamako.

Des contacts et échanges ont également été effectués avec l'équipe d'experts travaillant sur le schéma directeur d'approvisionnement de N'Djamena (Tchad) : Claudine Duhem et G. Madon.

#### 3.2.4.3. Les enquêtes et études villageoises

Très peu de données fiables et exhaustives existent sur la stratégie des acteurs de la filière qu'ils soient détaillants, grossistes ou producteurs.

Parmi les études existantes et disponibles, nous avons sélectionné 5 enquêtes dont il était possible d'exploiter les résultats en terme de préférences spatiales :

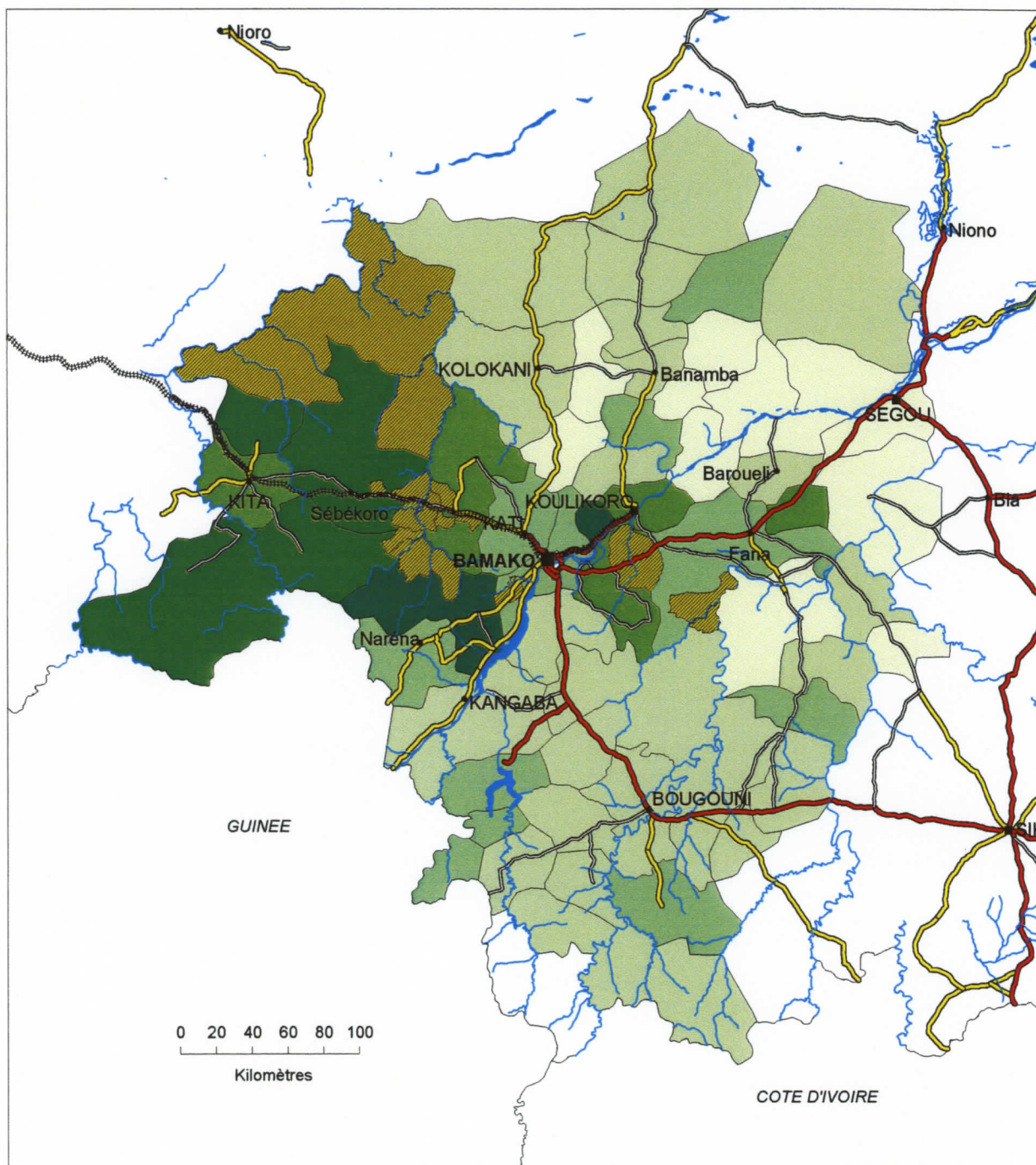
- Les résultats d'une enquête menée en 1985 par K. Olsson sur 14 villages du Soudan, traduisant les déterminants de la consommation rurale de bois de feu [OLS85]. Cette étude présente de nombreuses données que nous avons pu analyser et traiter afin d'en dégager des tendances sur l'évolution des consommations en fonction des distances de collecte et de la taille des villages (cf Figure 22).
- Une enquête menée par la CCL en 2000 sur 15 villages au Mali, traduisant les préférences des ménages ruraux en matière d'utilisation du bois. Cette étude a permis de confirmer les tendances ébauchées dans l'étude précédente notamment quant à l'influence de la distance de collecte sur le comportement des acteurs ruraux (cf Figure 20)
- Les résultats d'une enquête menée en 1998 sur 2 villages du Niger par M.R. Moller, analysant les déterminants et le rôle des activités rurales non agricoles dans la vie des paysans nigériens [MOL98].
- Les résultats d'une enquête menée en 1999 par K. Brock et N'G. Coulibaly sur 2 villages maliens traduisant les stratégies des foyers en milieu rural [HIL99].
- Les résultats d'une enquête menée en 1999 par G. Konate au Mali sur l'implication des femmes charbonnières et bûcheronnes dans les marchés ruraux [KON99].

#### 3.2.4.4. Les données sur la ressource forestière

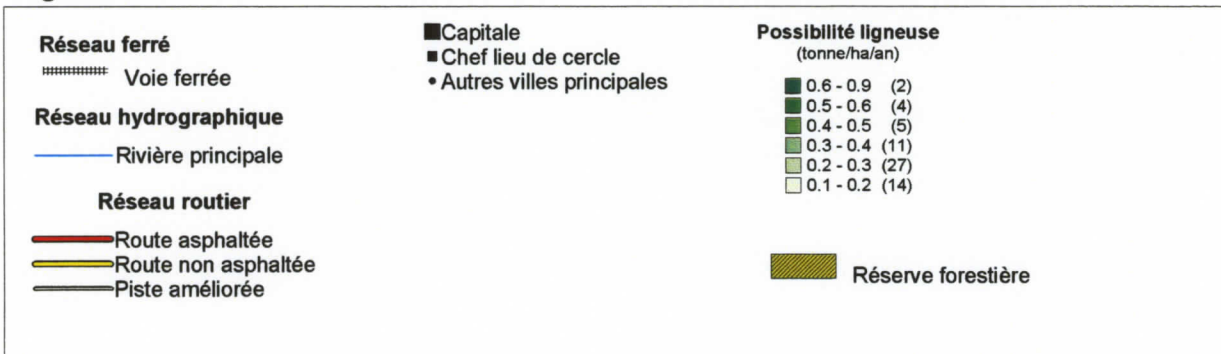
L'évaluation des stocks de bois disponibles dans le bassin d'approvisionnement de Bamako repose sur la cartographie complète des formations végétales réalisées par le projet PIRL (Projet d'Inventaire des Ressources Ligneuses au Mali) entre 1988 et 1991. Ces cartes au 1/200000° ne sont actuellement disponibles que sur support papier. Leur précision ne permet pas de travailler à l'échelle des villages. Les stocks ont été estimés par la CCL à l'échelle des arrondissements maliens (surface moyenne de ha). Nous avons utilisé ces valeurs moyennes pour calculer la possibilité au niveau de chaque village.

Possibilité ligneuse du village = Possibilité/ha de l'arrondissement \* Surface du village





**Légende :**



**Carte 7: possibilité ligneuse moyenne par arrondissement (tonne/ha/an)**

### 3.3. Les bases formelles du modèle d'attraction

#### 3.3.1. Hypothèse 1 : Une filière dominante contrôlée par les grossistes

Pour la construction de ce modèle, nous nous concentrerons sur la filière majoritaire au Mali correspondant au deuxième type de filière décrit dans le chapitre précédent. Comme nous l'avons vu précédemment, cette filière est en passe de devenir la forme dominante d'exploitation et de commercialisation du bois-énergie dans tous les pays sahéliens ayant mis en œuvre une politique énergétique dite « Stratégie Energie Domestique ».

Ce type de chaîne d'approvisionnement d'un marché urbain comporte deux grands segments :

- Un segment de « production primaire » mettant en relation des zones de production primaire et des points de vente en gros situés en dehors des centres urbains. A ce niveau, la vente est assurée par des vendeurs indépendants ou par les producteurs eux-mêmes. Chaque producteur ne met son produit sur le marché qu'en (un et un seul) point de vente. Les points de vente sont localisés en majorité sur les axes de communication permettant l'accès aux moyens de transport lourds des grossistes.
- Un segment de « distribution en gros » mettant en relation un centre de consommation unique et l'ensemble des points de vente. Les acteurs principaux de ce segment sont les grossistes. Ils achètent la production au niveau des points de vente en gros, transportent les biens jusqu'en ville où il vendent, soit directement aux consommateurs finaux, soit à des détaillants urbains.

Dans ce type de filière, le producteur primaire, est totalement dépendant du grossiste pour la commercialisation de son produit. Ce dernier a un rôle central : il contrôle à la fois la mise sur le marché du produit (achat en gros), le transport et une partie de la distribution finale.

**Dans ce contexte, la question de la localisation des prélèvements peut être décomposée en deux parties :**

*Quels sont les points de vente visités par les grossistes ?*

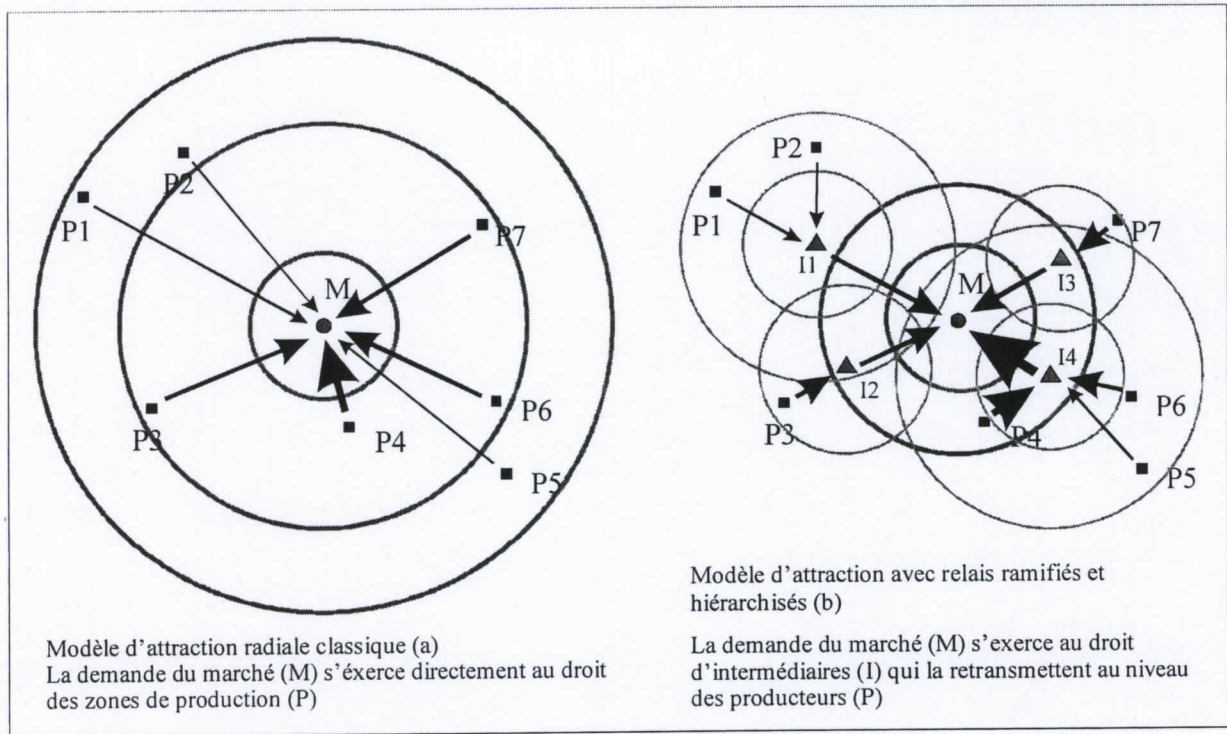
*Quelles sont les zones de production alimentant ces points de vente ?*

#### 3.3.2. Hypothèse 2 : Un modèle arborescent d'interactions spatiales en série.

Les modèles d'interaction spatiale sont par construction bipolaires. Ils supposent un nœud émetteur et un nœud récepteur séparés par un espace dont le coût de franchissement est non nul.

La chaîne d'approvisionnement peut être représentée par une arborescence d'entités localisées (zones de production, points de vente, marché urbain) en relation deux à deux. Ce réseau est par ailleurs hiérarchisé : une entité « zone de production » (P) ne peut être en relation qu'avec une entité « point de vente » (I) qui elle même ne peut être en relation qu'avec le marché urbain (M) (cf Figure 13)





**Figure 13 : Modèle d'attraction classique (a) et modèle arborescent proposé : Une attraction avec relais ramifiés et hiérarchisés (b).**

Les échanges au sein d'un segment peuvent être approchés par un modèle d'interaction spatiale de type gravitaire. La forme retenue pour chaque segment est, dans un premier temps, celle proposée originellement par Fotheringham [FOT83] en assouplissant néanmoins ses hypothèses sur l'effet négatif de la concentration des destinations.

$$I_{ij} = k e_i m_j A_{ij}^{\delta} d_{ij}^{\beta}$$

avec

$$k = C_i * \left( \sum_i \sum_j e_i m_j A_{ij}^{\delta} d_{ij}^{\beta} \right)^{-1} \text{ facteur d'équilibre assurant la conservation des flux}$$

$A_{ij}^{\delta}$  représente l'accessibilité de la destination j perçue par les résidents de l'origine i.  $\delta$  est un coefficient négatif ou positif permettant de prendre en compte l'effet de l'agglomération des destinations.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^w m_k d_{jk}^{\beta}$$

$e_i$  est l'émissivité (la masse) de l'origine i

$m_j$  est l'attractivité (la masse) de la destination j

$d_{ij}$  est la distance (ou le coût de déplacement) entre i et j

$C_i$  est la consommation totale du centre urbain. Elle est supposée connue.

Dans toute la suite du rapport nous noterons par :

$i$  : le centre urbain.  $i$  est unique

$j$  : un point de vente.  $j \in [1, v]$

$k$  : une zone de production.  $k \in [1, w]$

$I_{ij}$  : flux entre la ville et le point de vente  $j$

$I_{jk}$  : flux entre le point de vente  $j$  et la zone de production  $k$

Reponse lauréat  
1) Est sur l'axe  
Donne 1 eu de village = 2000 bini.  
le + proche de la route.  
2/3/4 villages potentiels.  
25 km route.  
2/  
3/  
semblance au village  
nbre habitant change  
définis  
et

### 3.3.3. Hypothèse 3 : Un équilibre offre/demande au niveau des points de vente en gros.

Les flux sont, par définition, des quantités de matières transportées entre deux nœuds pendant un temps donné. Nous supposons que sur le pas de temps considéré (l'année en général), la demande et l'offre s'équilibrent au niveau des points de vente en gros. Ce qui signifie qu'il n'existe pas de stock en ces lieux.

En chacun des points de vente, le flux entre la ville et le point de vente en gros est égal à la somme des flux provenant de l'ensemble des zones de production.

Cette hypothèse constitue une contrainte forte pour le modèle qui se traduit par l'équation suivante :

$$I_{ij} = \sum_{k=1}^w I_{jk}$$

### 3.3.4. Hypothèse 4 : Un milieu anisotrope

Nous supposons que la ressource est inégalement distribuée dans tout le bassin d'approvisionnement du centre urbain. Chaque zone de production se caractérise par une possibilité ligneuse<sup>17</sup> et une organisation spatiale de la ressource qui lui est propre.

Nous supposons également que les flux sont portés par un réseau routier structuré et hiérarchisé.

### 3.3.5. Hypothèse 5 : un pilotage de la filière par l'aval.

Nous supposons que la demande des grossistes, localisée au niveau des points de vente, « crée » l'offre.

Le modèle se résout donc en débutant par l'aval de la chaîne. Un premier passage permet de déterminer la localisation des points de vente et la demande s'y afférent. Un second passage localise les zones de production alimentant ces points de vente et redistribue la demande en fonction de leur potentiel de production (« leur émissivité »).

ne korokora  
juste ? => "opt pushing"  
général NR  
fait 15  
pas de  
Boules ?  
quodite  
100 CFA/sac  
pour le  
optimaire  
direct's

## 3.4. Une lecture géographique de la filière pour faire émerger, segments et entités en relation.

Par rapport à l'analyse des filières précédemment faite, nous nous attarderons ci-après sur la caractérisation et la dimension spatiale des entités émettrices et réceptrices que sont :

1. Les zones de production
2. Les espaces de vente en gros
3. Le marché urbain

Ainsi que sur la description du réseau de transport permettant les échanges.

<sup>17</sup> La possibilité ligneuse est la production annuelle en biomasse ligneuse d'une zone. Elle dépend de la productivité et du stock. Elle se mesure en Tonne/an.



### 3.4.1. Le réseau de transport du bois

Le transport du bois vers les grandes villes se fait majoritairement par la route. Les moyens de transport utilisés vont de la charrette tractée par un âne jusqu'au semi-remorque.

En 1994, les transports routiers motorisés (camionnettes, camions et semi-remorques) assuraient près de 90% de l'approvisionnement de Bamako en bois de feu et 95% en charbon de bois.

Le transport de bois depuis la zone de production jusqu'au marché urbain est donc effectué :

1. A dos d'homme et parfois par charrette à travers des sentiers et de petites pistes, de la zone de prélèvement jusqu'à une zone de stockage et de pré-conditionnement (mise en sacs ou mise en fagots) proche des habitations villageoises ;
2. Sur des charrettes ou à dos d'homme, à travers des pistes saisonnières jusqu'à un point de vente en bord de route ;
3. Sur des camions ou camionnettes bâchées depuis les points de vente jusqu'à la ville sur des routes ou pistes améliorées.

A proximité de la ville, les producteurs primaires peuvent également directement amener leur production par charrette à la ville mais ce type de transport est devenu très minoritaire.

Dans le modèle proposé, nous supposons **une organisation radiaire du réseau autour du marché urbain**. Différentes classes de voies seront considérées en fonction de la surface de revêtement et de la praticabilité en saison des pluies. A chaque type d'axe est associé un coefficient kilométrique d'accessibilité reflétant la difficulté de mouvement.

Dans toute la suite du rapport, nous définirons **la distance-coût** comme *la mesure concrète de l'écartement entre deux lieux*. Elle correspond à l'effort minimum que l'on doit effectuer pour se déplacer d'un lieu à l'autre

Elle est estimée par la formule suivante :

$$\text{Distance - coût} = \text{Min}(\sum D_i * C_i)$$

$D_i$  = Distance géométrique parcourue sur un tronçon de voie  $i$

$C_i$  = Coefficient kilométrique de difficulté du tronçon de voie  $i$

Ce coefficient dépend de la vitesse maximum possible sur la voie, la fréquence du trafic et de la praticabilité saisonnière [OPP96].

L'annexe I présente la méthodologie utilisée pour calculer la distance-coût d'un lieu par rapport à la ville ou par rapport à une route existante.

Les 4 types de voies considérées sont :

Classe 1 : Route bitumée praticable par des moyens de transport motorisés toute l'année. Le coefficient de difficulté de mouvement est pris égal à 1.

Classe 2 : Route en terre et piste améliorée en latérite. Axes praticables par des moyens de transport motorisés toute l'année mais pouvant être occasionnellement fermées du fait de mauvaises conditions de surface. Le coefficient kilométrique est pris égal à 1.5.

Classe 3 : Pistes en terre accessibles aux transports motorisés seulement en saison sèche. Le coefficient kilométrique est égal à 2.

Classe 4 : Pistes en terre non accessibles aux transports motorisés (motos exceptées). Elles correspondent aux innombrables chemins et sentiers reliant les différents

villages entre eux ou les champs aux villages. Le coefficient kilométrique est pris égal à 4.

Les coefficients utilisés sont conformes aux tarifs pratiqués par les transporteurs, prenant en compte la vitesse moyenne de transport et les risques de panne.

La Figure 14 représente la structure caractéristique du réseau routier modélisé.

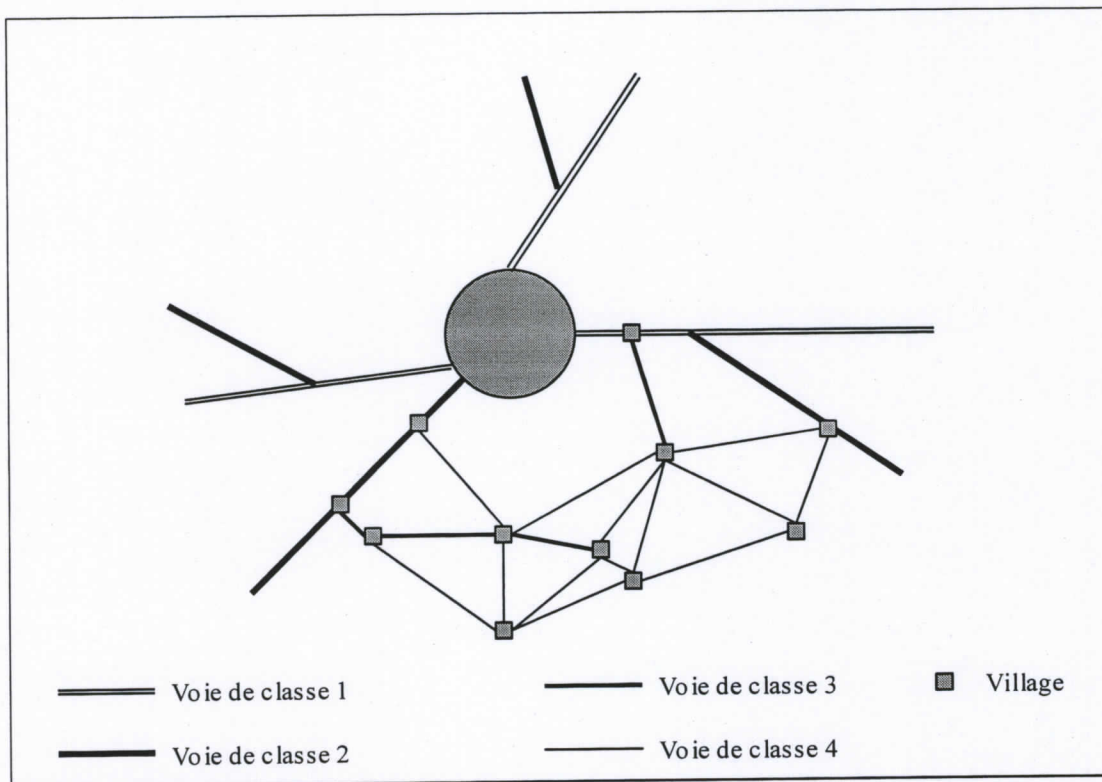


Figure 14 : Organisation et hiérarchisation du réseau routier autour du centre urbain modélisé.

### 3.4.2. Les entités spatiales en relation

#### 3.4.2.1. Le terroir villageois : zone rurale de production primaire

Comme la majorité des activités rurales, la collecte de bois s'organise spatialement au niveau du village. Les exploitants ruraux coupent le bois dans les limites du terroir villageois. Ce dernier correspond traditionnellement à l'ensemble des espaces cultivés ou non sur lesquels un chef de village a un pouvoir d'attribution des terres.

En Afrique, cet espace n'est pas cadastré. Ses limites sont liées à l'extension des terres du village jusqu'aux bordures des terres des villages voisins. Comme nous l'avons vu précédemment, dans l'organisation classique d'un village africain, les zones les plus riches en bois (les brousses) sont situées à la périphérie du terroir. Elles matérialisent les limites floues inter-villageoises. Ces zones sont également des zones où le contrôle central des autorités villageoises est affaibli [MER02].

B. Haudidier [HAU01] fait remarquer que cette position devient source de conflits avec les villages voisins. La commercialisation du bois renforce les maîtrises foncières sur ces espaces autrefois ouverts. L'administration forestière est alors appelée à arbitrer les litiges mais on note également que certains villages ont même créé une police forestière taxant les contrevenants.

La Carte 8 illustre cette organisation concentrique autour du village de Sanankoro situé à 70 km à l'est de Bamako.



La concurrence spatiale pour les lieux de coupe est également source de conflits internes au village. Les villages sahéliens sont en général divisés en « quartiers » ou en hameaux regroupant des familles étendues (4 générations en moyenne). Autour de ces ensembles de cases, se trouvent les champs cultivés en commun, puis les jachères sur lesquelles la maîtrise foncière de la famille tend aussi à se renforcer et enfin les brousses. Si le ramassage de bois pour l'autoconsommation est tolérée dans les jachères, les paysans acceptent de moins en moins l'exploitation commerciale de ce qu'ils considèrent être comme leur ressource.

L'exploitation est pratiquée à la hache dans des zones situées entre 2 et 6 km du village. Le bois, une fois coupé, est rassemblé sur des aires de stockage, situées au maximum à 1,5 km du lieu de coupe. Il peut également être transporté vers des lieux de carbonisation. Certains villages interdisent la confection de meules sur le lieu de coupe. Les charbonniers sont donc obligés de façonner leurs meules à proximité de leurs habitations. Le bois est transporté du lieu de coupe au lieu de stockage ou de carbonisation soit à dos d'homme (20% d'après les enquêtes au Mali), soit en charrette (80%). Ces charrettes sont en majorité louées. Au Mali, seuls 25% des bûcherons et charbonniers possèdent une charrette.

Au sein du village, les zones de coupe sont donc le fruit de deux forces majeures :

- Une force centrifuge qui pousse les exploitants vers la périphérie du terroir où la ressource est la plus abondante et où le contrôle et la maîtrise foncière sont les plus faibles.
- Une force centripète qui les pousse à couper à proximité de leurs habitations car d'une part, ils exploitent ainsi leurs brousses et surtout car les temps de trajet sont alors plus faibles et ils peuvent stocker, conditionner ou carboniser leur bois sur des aires proches de leurs logements.

Dans le modèle proposé, nous ne considérerons pas le niveau **infra-villageois**. **Nous assimilerons donc la « zone de production » à l'ensemble du terroir d'un village et nous supposerons que la ressource exploitable pour chaque village se limite aux formations arborées présentes dans les limites du terroir.**

De ce fait, la population du village se trouve en situation de monopole pour l'exploitation de ses ressources.

**L'organisation spatiale du village est supposée être en anneaux concentriques autour d'un noyau central d'habitat groupé.** Les brousses sont localisées à la périphérie du village.

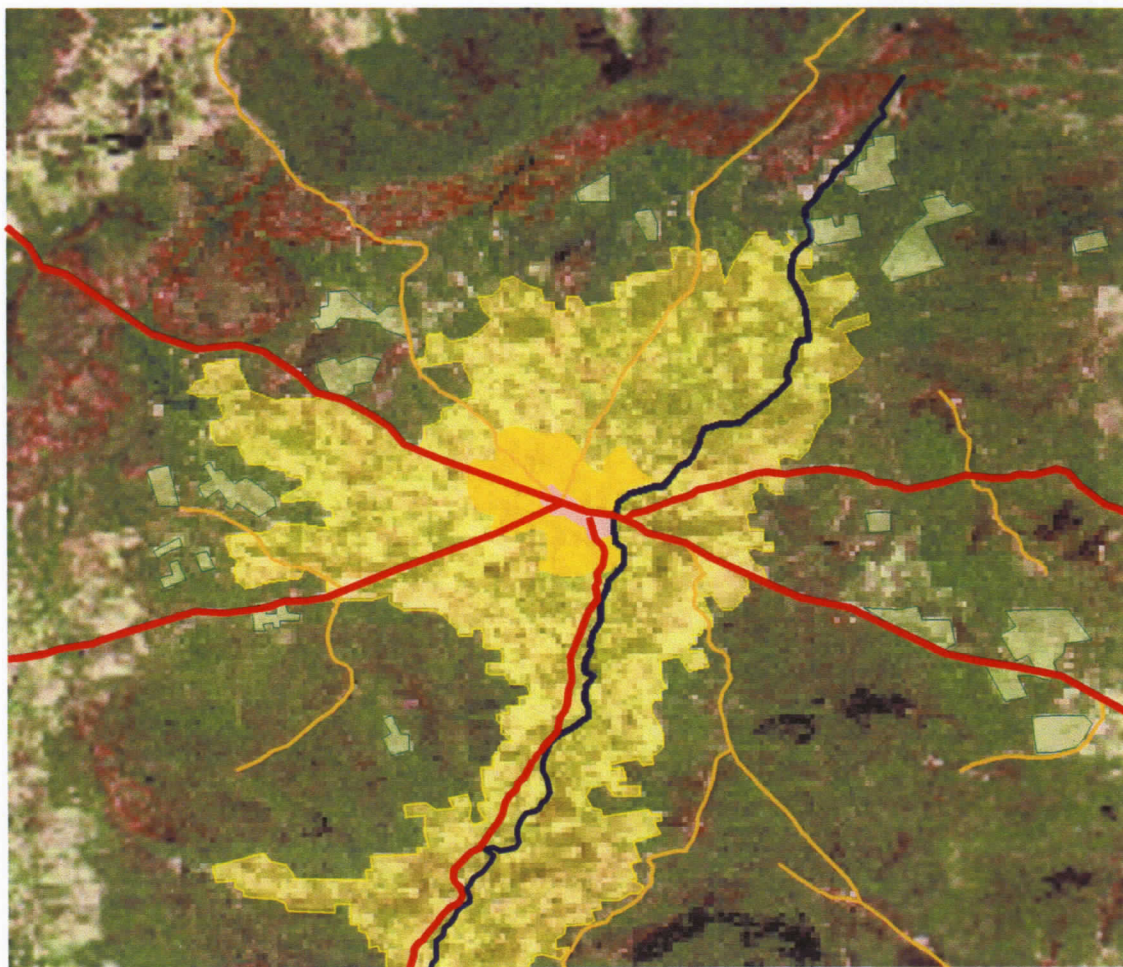
# Structure en nid d'abeille



Poini  
pour calculer sur la nioje



lieu d'habitation  
lieu d'habitation





10 km

# ORGANISATION SPATIALE D'UN VILLAGE SAHELIEU (HABITAT GROUPE) L'EXEMPLE DE SANANKORO AU MALI

- |  |   |
|--|---|
|  Centre du village<br>Zone d'habitations groupées |  Zone de brousse                               |
|  Jardins  |  Zone de glaci                                 |
|  Parcs arborés et champs                          |  Pistes principales reliant plusieurs villages |
|  Champs de brousse et jachères                    |  Pistes secondaires menant aux champs          |
|  |  Talweg  |

Carte 8 : Organisation spatiale d'un village sahélien. L'exemple de Sanankoro au Mali  
(Source : image LANDSAT 7 nov 1999. Composition colorée canaux 5,4,3 + panchromatique)

image 3 de route / Boiss Arbre hors chps → Appro + Noyau Centre 3200 rech  
Route Neradi - Kéle ... logique éch C<sup>rs</sup> pour pas des chps  
Arbre des chps merche mieux. filer ?



#### 3.4.2.2. *Les points de vente.*

Une fois le bois coupé, conditionné en fagots ou carbonisé, celui-ci peut être vendu sur son lieu de production ou être transporté vers un point de vente en bordure de route. Avant d'être proposé à la vente, le bois peut donc avoir été transporté à dos d'homme ou sur des charrettes tractées par des ânes parfois sur de grandes distances : plus de 10 km dans le bassin de Niamey et entre 10 et 20 km en moyenne autour de Bamako. Ce transport est effectué sur des pistes saisonnières difficilement praticables en saison des pluies que ce soit par des petits engins motorisés venant chercher le bois au droit des lieux de coupe ou par des charrettes amenant le bois en bordure de route.

Aujourd'hui la vente en bord de route est majoritaire : au Mali, 60% des ventes s'effectuent en bord de route. Dans le bassin de Bamako, en 1994 les points de vente situés à moins de 5km d'un axe routier principal, totalisaient à eux seuls 70% des quantités vendues en ville.

Ces points de vente sont localisés dans les zones « urbanisées » des villages, soit directement en bordure, soit un peu à l'écart de la route. Les stocks en dehors des lieux courants d'habitation sont très rares. En effet, les quantités stockées nécessitent d'être surveillées afin d'éviter les vols.

Pour les villages éloignés des voies fréquentées, l'accès à la route et la possibilité de vendre en bordure d'un axe praticable est un enjeu majeur. L'installation d'un point de vente résulte d'un accord négocié entre les villages de « l'arrière-pays » et les villages situés en bord de route. Certains villages riverains d'un axe restreignent ou interdisent l'accès aux villages voisins, voire même à certains de leurs propres hameaux. L'administration forestière est parfois appelée à arbitrer les conflits.

Les vendeurs se regroupent en général par affinités villageoises pour créer un point de vente unique.

Certains points de vente sont ouverts tous les jours de la semaine tandis que d'autres ne sont autorisés que les jours de marché (une fois par semaine en moyenne).

L'encadré illustre le déroulement de la vente du bois un jour de marché dans le village de Markacoungo situé à 60 km de Bamako.

**Dans le modèle proposé, on définira un point de vente comme le lieu de commercialisation de bois et/ou de charbon associé à (un et un seul) village de production. Ce lieu sera nécessairement situé dans un village riverain d'un axe de communication de classe 1 ou 2.**

**L'ensemble des points de vente rassemblés dans un même village définit un village de vente.**

Les entités « point de vente » et « village de vente » seront assimilés à des points.

#### 3.4.2.3. *La zone urbaine de commercialisation.*

L'organisation de la vente de détail ne sera pas abordée ici. Elle n'influe pas a priori sur la stratégie des acteurs considérés dans le modèle : paysans bûcherons, vendeurs bord de route et grossistes.



### Chronique d'un jour de marché à Markacoungo (Mali)

Markacoungo est un village situé à 60 km à l'Est de Bamako sur l'axe routier principal de Ségou.

Tous les mardis s'y déroule un grand marché généraliste où se vendent articles de confection, tissus, outils et ustensiles divers, produits agricoles et du bois sous la forme pratiquement exclusive de charbon.

Au sein du village on peut dénombrer 4 points de vente temporaires accueillant les producteurs de 4 villages voisins; de nombreux points de vente individuels peu visibles du « goudron » ; et 2 négociants professionnels situés aux entrées du village et vendant tous les jours de la semaine.

Déroulement de la vente :

8h00- 9h30 : les producteurs « descendent » des villages avoisinant et apportent les sacs de charbon sur des charrettes à ânes. Une noria de charrettes alimente le marché toute la matinée. Certains bûcherons des villages les plus éloignés sont arrivés le Lundi soir.

Les acheteuses sont déjà là, circulent parmi les sacs, évaluent la qualité de la marchandise et s'enquière du prix.

Les villageois se sont accordés avant la vente sur un prix unique fixé aujourd'hui à 2000 FCFA.

10h30 : Les négociations ont commencé. Les vendeurs ne veulent pas négocier ; camions et minibus restent vides

11h30 : Les négociations continuent et se durcissent. Les gestionnaires des points de vente ne veulent toujours pas descendre le prix. La fête du Ramadan est proche et le besoin en liquidité est important. Certains minibus sont déjà chargés

14h00 : La vente de bois est finie, tous les minibus sont chargés ou en cours de chargement.

Les producteurs se préparent à rentrer.

Il est très difficile de connaître à combien est tombé le prix du bois.

Le marché local bat son plein et continuera jusqu'à environ 18h00.

### Encadré 2 : Chronique d'une vente de charbon sur le marché de Markacoungo (Mali)

#### 3.4.2.4. Schéma d'organisation spatiale des entités modélisées.

La Figure 15 illustre l'organisation spatiale générale des entités géographiques prises en compte dans le modèle.

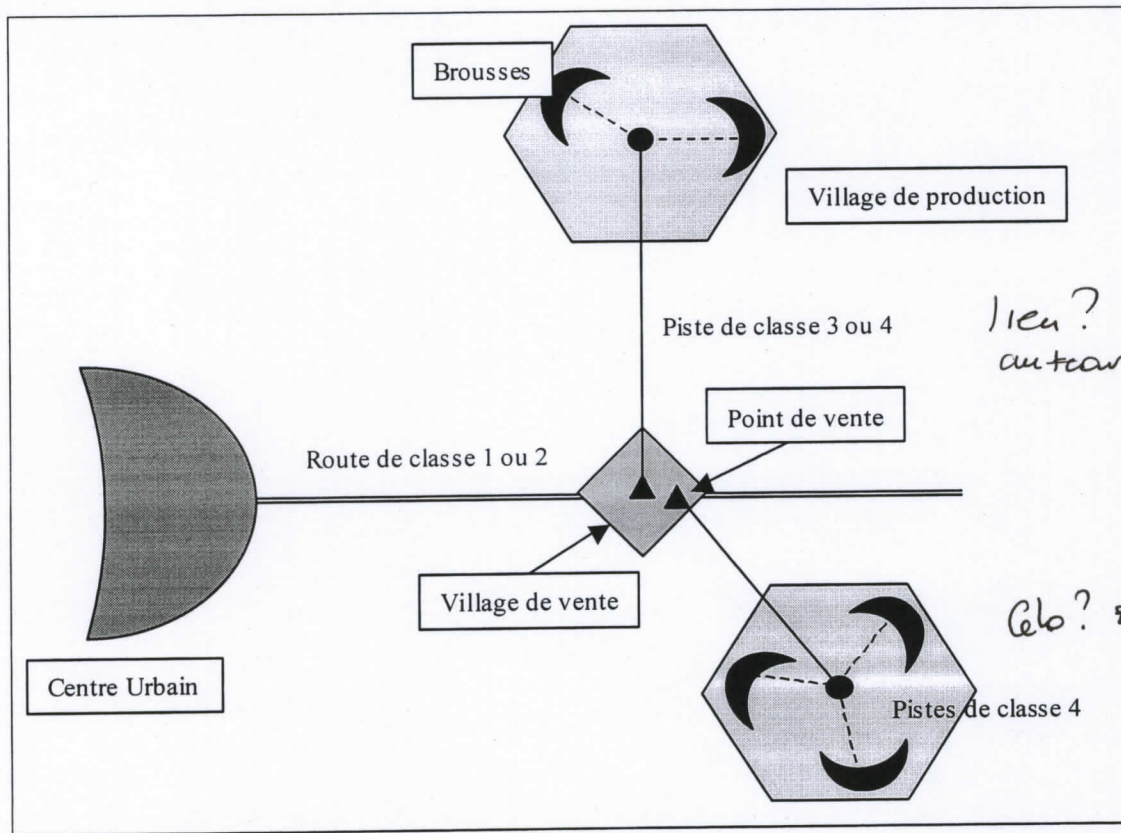


Figure 15 : Organisation spatiale des entités modélisées

#### 3.4.3. Tendances, formes et gradients : la structure générale du bassin

La forme générale d'un bassin d'approvisionnement est la résultante de l'agrégation de l'ensemble des points de vente et des zones de production associées.

L'analyse des flux, de la localisation des points de vente et des villages de productions en fonction de l'accessibilité à la ville permet d'esquisser la forme générale du bassin et les grandes préférences en matière de localisation.

##### 3.4.3.1. Un gradient concentrique de production

Les flux et l'activité de prélèvement, (caractérisée ici par le nombre et le % de villages exploitant) décroissent quasi linéairement avec l'accessibilité globale à la ville (cf Figure 16). On retrouve ainsi la figure classique de « l'orthodoxie du bois-énergie » d'un gradient négatif de la production de bois en fonction de l'éloignement à la ville<sup>18</sup>.

Cependant, on note une discontinuité dans ce gradient aux abords immédiats de la ville. La zone péri-urbaine se caractérise par un nombre très important de villages alimentant le marché, mais par des volumes échangés plus faibles que dans les zones plus éloignées. Le gradient

<sup>18</sup> Il est par ailleurs intéressant de noter que paradoxalement, peu d'études ont réellement formalisé, enquêtes régionales chiffrées à l'appui, ce type de phénomène en zone sahélienne. E. Lambin et D. Kaimovitz [LAM94, KAI98], à l'occasion de revues bibliographiques sur les études et modèles de déforestation ne recensent que 2 références sur près de 150: l'une au Tchad [CHO97] et l'autre au Soudan.



logique des cellules et de la zone périphérique  
quelle est l'importance de l'analyse ?

présente donc un palier aux abords immédiats de la ville, puis une marche importante avant de devenir continu.

Cet effet a également été noté par R.A. Cline-Cole autour de Kano en Mauritanie [CLI87] et par Claudine Duhem autour de N'Djamena au Tchad (communication personnelle, étude à paraître) et s'explique par plusieurs facteurs que nous avons déjà énoncés et sur lesquels nous reviendrons dans la suite du rapport : augmentation de la maîtrise foncière, diminution éventuelle de la ressource, opportunités d'activités rémunératrices plus importantes, etc ...

Le modèle graphique correspondant à ce phénomène est donné Figure 19.

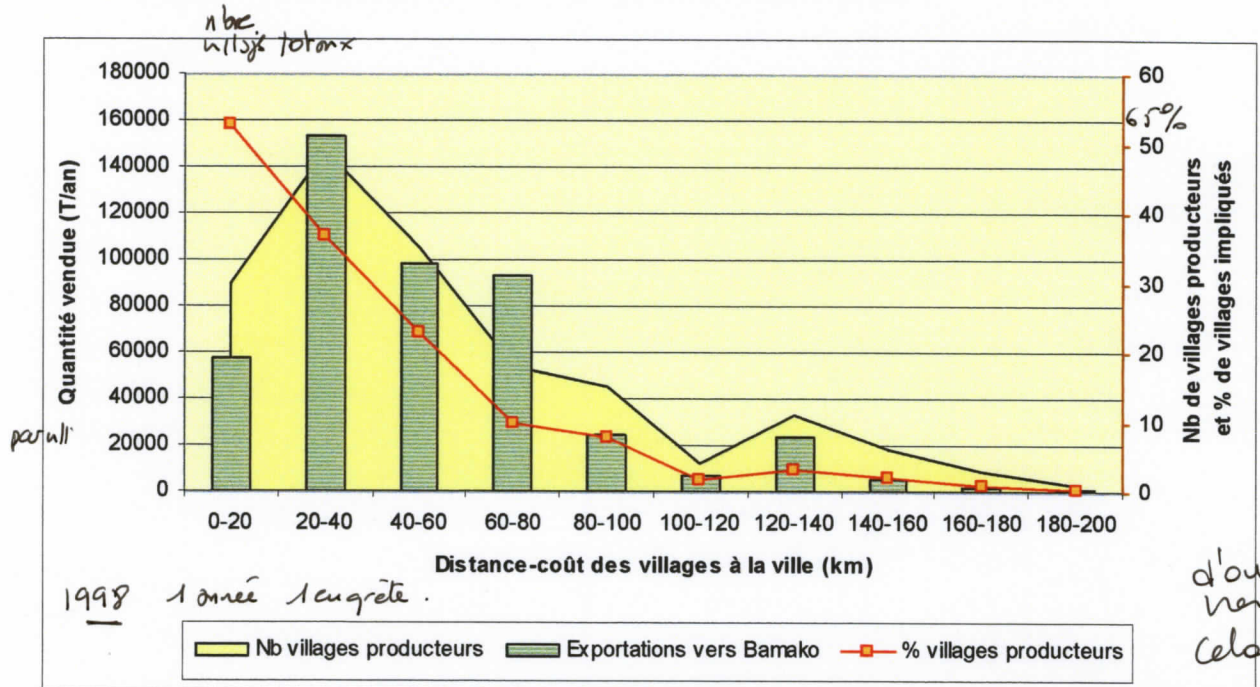


Figure 16 : Evolution des quantités prélevées en fonction de la distance à Bamako.

### 3.4.3.2. Un double gradient radial et tangentiel le long des axes

Le transport du bois se fait majoritairement par les principales voies de communication. Le gradient concentrique ci-avant est donc projeté sur le réseau routier.

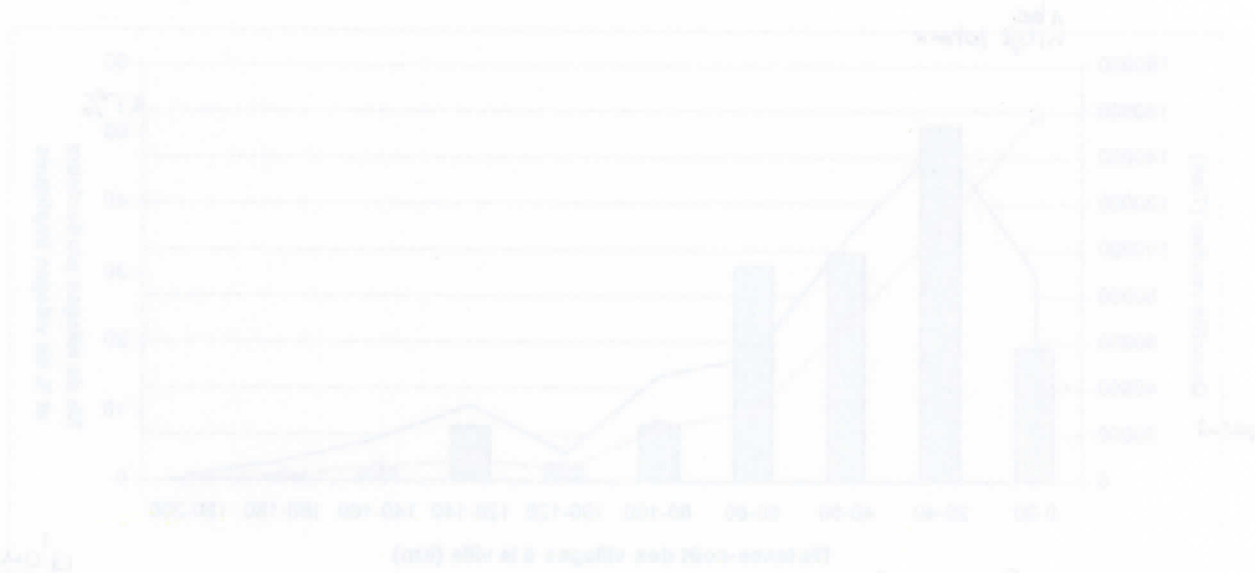
Compte tenu de la structure radiaire de ce réseau, la figure auréolaire décrite ci-dessus devient une étoile dont la base des branches est pincée (cf Figure 19). Cette forme constitue une variante des formes classiques en étoile régulière que l'on peut trouver dans la littérature, proposées pour des villes de moindre importance et pour lesquelles les zones péri-urbaines sont encore peu développées ([MER02] et [CHO97]).

L'analyse des flux par rapport à l'accessibilité à la route met également en évidence un gradient tangentiel (perpendiculaire aux axes) très fortement négatif : Les prélèvements décroissent très rapidement et deviennent pratiquement nuls au delà d'un seuil de distance-coût de 100 km, ce qui correspond à une distance sur le terrain de l'ordre de 25 km (Figure 17).

l'impact de la culture et de la langue sur la vie sociale

Le graphique ci-dessous illustre les données relatives à la culture et à la langue. Les données sont présentées sous forme de barres et de lignes. Les données sont les suivantes :

Langue	Culture	Langue	Culture
Anglais	10	Anglais	10
Anglais	20	Anglais	20
Anglais	30	Anglais	30
Anglais	40	Anglais	40
Anglais	50	Anglais	50
Anglais	60	Anglais	60
Anglais	70	Anglais	70
Anglais	80	Anglais	80
Anglais	90	Anglais	90
Anglais	100	Anglais	100



ville  
 + on est loin + va chercher  
 le bon loin de  
 la route.  
 ↓  
 no gain  
 no contrôle  
 incontrolable



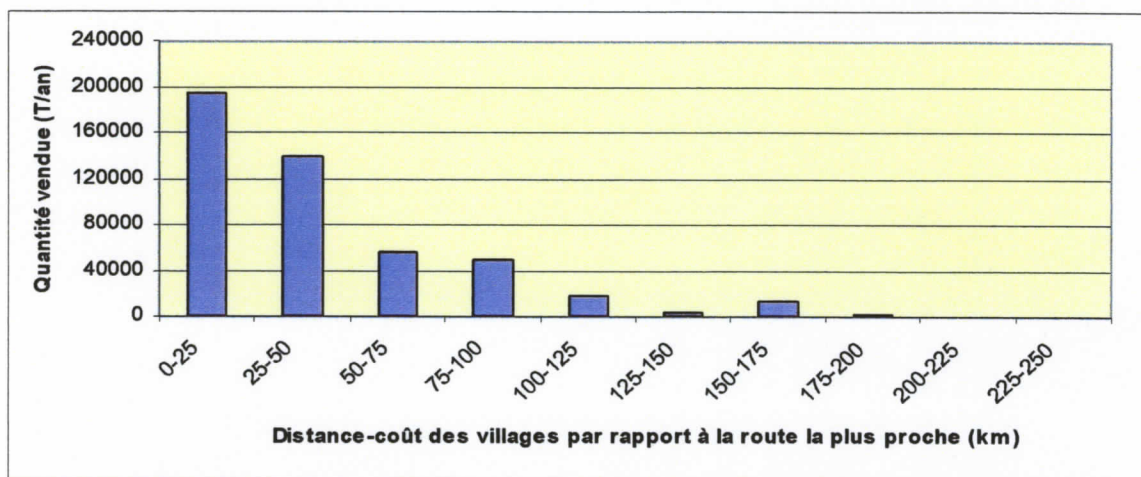


Figure 17 : Gradient tangentiel de production par rapport aux axes de communication

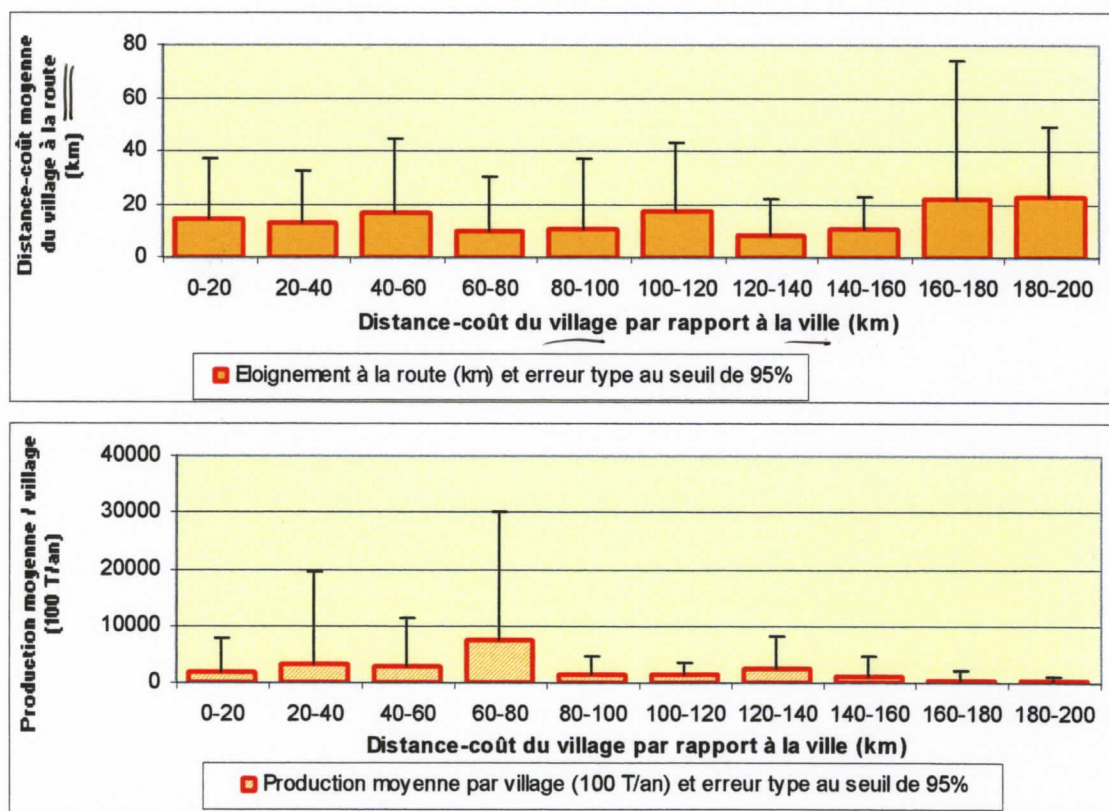
La Figure 19 traduit ce double gradient radial et tangentiel le long des axes de communication.

### 3.4.3.3. Une grande dispersion des villages producteurs autour des axes

Si la plupart des auteurs s'intéressent majoritairement aux flux, il convient pour notre problématique de s'intéresser également à la localisation des zones de production par rapport aux routes.

La Figure 18 analyse l'accessibilité des villages producteurs de bois par rapport à la route en fonction de leur accessibilité à la ville de Bamako (partie routière seulement).

+ un contrôle le long



km pondéré -  
selon type  
route  
→

} zone  
barrière

Figure 18 : Evolution de l'éloignement des zones de production par rapport aux routes et des productions unitaires villageoises en fonction de la distance à la ville.

Cette analyse met en évidence que :

- les productions moyennes par village sont très variables selon l'éloignement à la ville et sont également très variables au sein d'une même couronne d'éloignement (coef de variation > 100).
- en moyenne, les villages producteurs sont très proches des routes (3 km environ)
- il existe une forte dispersion spatiale de ces mêmes villages (coefficients de variation supérieurs à 100%). Certains villages peuvent se situer à plus de 20 km.
- les zones de production ont tendance à s'éloigner de la route au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la ville.

Sur ce dernier point, les enquêtes effectuées au Niger dans le bassin de Niamey soulignent également ce constat. Le Tableau 10 retrace pour tous les points de vente en bord de route l'évolution de la distance au village de production par rapport à la ville.

Il met en évidence que jusqu'à une distance de l'ordre de 80 km de la ville, les zones de production tendent à s'éloigner de la route. De 80 à 120 km, elles tendent à se rapprocher des axes de communication. Enfin au-delà, les zones très éloignées de la route (plus de 120 km) redeviennent majoritaires.

Distance du village de production au point de vente	Distance du point de vente au marché urbain			
	< 40 km	40 à 80 km	80 - 120 km	> 120 km
<b>Niamey</b>				
Moins de 5 km	14%	2%	16%	16%
5 à 10 km	31%	14%	50%	23%
Plus de 10 km	55%	84%	34%	71%
Nb de points de vente	23%	57%	12%	7%
Stock moyen (Tonne) par point de vente	12	10	29	10

Tableau 10 : Eloignement des villages de production par rapport aux points de vente bord de route en fonction de la distance à la ville de Niamey (sources : [PEI91])

En ne tenant compte que de la distance moyenne des villages de production le long des axes, la structure spatiale générale du bassin, devient une structure en « moulin à vent ». L'aire d'approvisionnement propre à chaque axe a la forme d'un trapèze tendant à s'élargir lorsque l'on s'éloigne de la ville (cf Figure 19)

#### 3.4.3.4. Des modèles aux capacités de localisation limités

Ces modèles élaborés simplement en ne prenant en compte que l'éloignement par rapport à la ville, permettent une vision générale de la structure spatiale du bassin.

Ils restent cependant très limités dans leur faculté d'explication et de localisation des villages producteurs. Ils ne peuvent notamment pas expliquer un certain nombre de discontinuités observées dans les gradients régionaux et au niveau des entités de base : les villages.

Pourquoi à distance équivalente, certains villages peuvent produire deux fois plus que d'autres ?

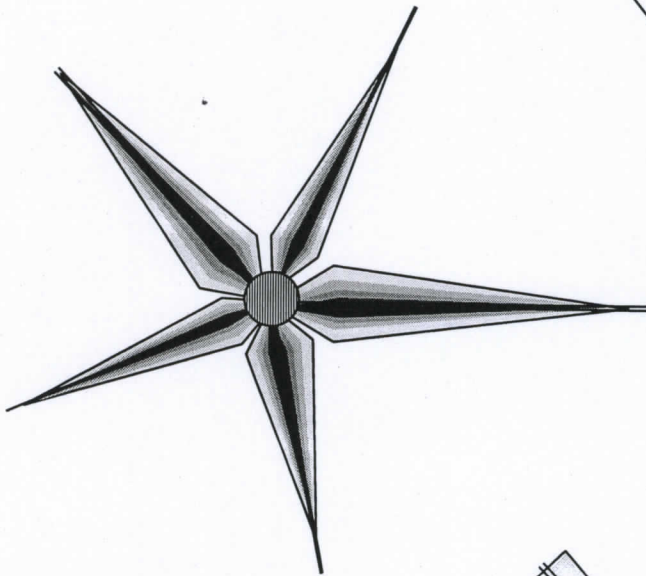
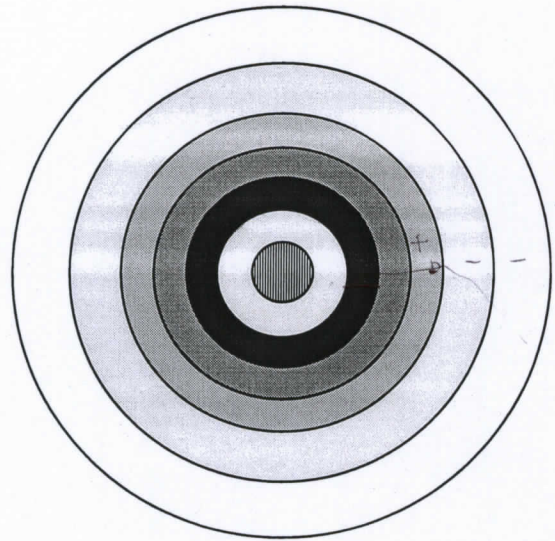
Pourquoi certains villages se situent à des distances deux fois plus importantes que d'autres pour des productions moyennes équivalentes ?

L'objectif de la modélisation proposée est d'affiner cette vision régionale en y introduisant, sous forme d'entités localisées, les différents acteurs de la filière et leurs stratégies



Une forme auréolaire avec un palier péri-urbain

La décroissance des flux avec l'éloignement à la ville ne devient régulière qu'une fois franchi le palier que constitue la zone péri-urbaine. Dans cet espace, l'offre en terme d'opportunité de revenus, la diminution éventuelle de la ressource, et une plus grande maîtrise foncière limitent les prélèvements malgré une situation très favorable.



Une forme en étoile pincée

Les flux présentent un double gradient radial et tangentiel le long des voies de communication

Une forme en moulin à vent

Les villages producteurs se concentrent le long des axes et ont tendance à s'en écarter avec l'éloignement à la ville

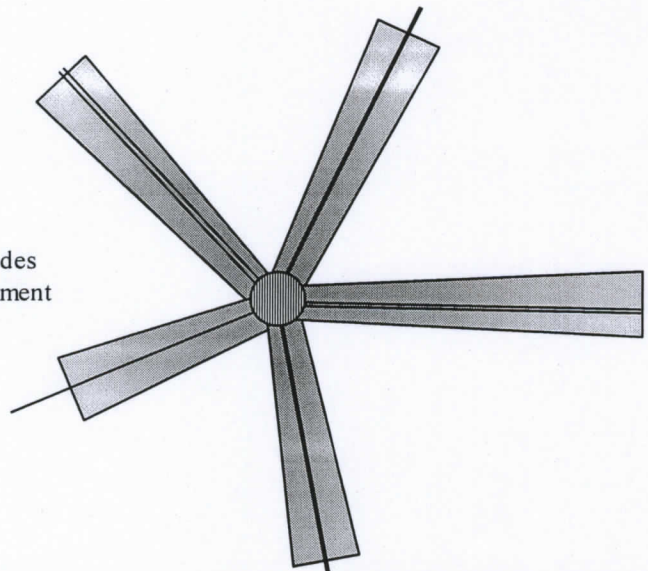


Figure 19 : Modèles graphiques de l'aire d'approvisionnement en bois-énergie d'une grande ville sahélienne.

### 3.5. Les préférences spatiales des acteurs

Nous nous placerons tout d'abord du point de vue du producteur : pourquoi se lance-t-il dans cette activité plutôt qu'une autre et quelles sont ces préférences en matière de lieux de coupe? Puis du côté de l'acheteur : pourquoi choisit-il d'acheter à un producteur plutôt qu'un autre ?

#### 3.5.1. Les motivations du producteur

Comme nous le rappelions dans le chapitre précédent, dans le type de filière étudiée, la coupe du bois est avant tout une activité complémentaire de l'agriculture. Les paysans-bûcherons décident d'exploiter le bois en fonction du coût d'opportunité du temps qu'ils peuvent consacrer à l'activité de collecte et de commercialisation.

Pour le paysan, le choix d'exploiter dépend donc essentiellement de 3 facteurs :

1. L'effort de collecte;
2. L'accès à un point de vente lui offrant le maximum de débouchés;
3. Les opportunités de revenus complémentaires.

##### 3.5.1.1. L'effort de collecte : la mise en évidence d'un seuil de distance

Ce facteur est sans doute une des originalités de ce type de production. Il est négligé dans tous les modèles classiques de localisation des activités. Il se retrouve néanmoins dans certains modèles de production agricole comme celui de K. Daniel [DAN01].

Cet effort global est fonction de l'effort de travail et de la disponibilité de la ressource. « **L'effort de travail** » correspond à la quantité de travail nécessaire à l'exploitation au sein d'un village ; et la « **disponibilité** » de la ressource peut se définir comme la facilité d'accès à cette dernière compte tenu du niveau contrôle exercé.

La fonction de préférence globale du paysan pour la collecte prend ainsi la forme :

$$\text{Préférence de collecte} = \frac{1}{\text{Effort de collecte}} = \frac{1}{\text{Effort de travail}} * \text{disponibilité}$$

*Coupe bois*                      *accès (D)*

L'effort de travail est lié à trois éléments :

1. Les déplacements occasionnés par l'activité de coupe. Ces derniers dépendent de l'organisation spatiale de la ressource autour du village et des moyens de transport utilisés.
2. La main-d'œuvre disponible. Elle conditionne directement le temps que les exploitants peuvent consacrer à la collecte du bois.
3. La pénibilité du travail. Outre la difficulté de la tâche due au portage et à la distance, la pénibilité du travail est liée à la coupe manuelle : certaines essences sont plus dures que d'autres, certaines formations arborées présentent des risques de blessures plus importantes.

La disponibilité de la ressource est liée aux règles d'accès et donc essentiellement au type d'utilisation des terres sur lesquelles elle se trouve.

#### Les déplacements

Le temps et l'effort consacrés aux déplacements vers les lieux de coupe dépendent de l'organisation spatiale des ressources et des moyens de transports utilisés.

*Logique  
Paysan-Déjà*

*[+ agriculture] = Disponibilité moindre [- despo.]*

*• Moins mix sur R extensio. 87  
= de ch. jachère oppo.*

*Vient le valider*

*cf  
photo.  
extensio  
+ p. 106*

*Influence  
de l'activité  
agricole?*

*Compte  
qui  
↓  
role de  
la structure  
agricole  
village.*



Dans une situation où existent encore des zones de brousse en périphérie du village, les paysans préfèrent les exploiter en priorité.

Le déplacement occasionné par l'activité de coupe se décompose en :

- Un déplacement jusqu'à un point central en brousse qui sera lieu de stockage temporaire de la production de la journée.
- Une série de petits déplacements dans un rayon de 100m à 1500 m pour couper le bois, le ramasser et le ramener jusqu'à l'aire de stockage journalière

Le temps global de déplacement dépend de la distance moyenne entre les habitations et les brousses et de l'hétérogénéité spatiale de la ressource : morcellement, répartition inégale des essences, etc .... La modélisation des terroirs retenue (cercles concentriques) et les données disponibles ne nous permettent pas actuellement d'estimer l'impact de la fragmentation de la ressource sur l'effort de collecte.

Dans une situation de saturation du terroir villageois par l'espace agricole, la ressource se trouve, de fait, majoritairement dans les champs et les jachères. Elle peut se trouver en quantité abondante mais est plus difficile à collecter du fait des maîtrises foncières et d'un plus grand morcellement. R.Cline Cole met en évidence que dans les zones agricoles autour de Kano, la ressource ligneuse est plus importante que dans les zones plus éloignées où existent encore des brousses. Les schémas de collecte sont plus difficiles à appréhender mais on peut supposer qu'à quantité prélevée égale, les temps de déplacements sont plus importants que dans la situation de non saturation foncière.

Nous ne disposons pas de données permettant de mesurer directement les quantités prélevées pour la commercialisation en fonction des distances moyennes de collecte. En revanche différentes études au Mali et au Soudan permettent d'évaluer l'impact de la distance de collecte sur la consommation des ménages ruraux

Les études menées par la CCL sur 15 villages maliens en 2000 et par Olsson sur 14 villages soudanais en 1985 montrent que la consommation moyenne des ménages ruraux diminue quasi linéairement avec la distance de corvée de ramassage de bois (Figure 20 et Figure 21).

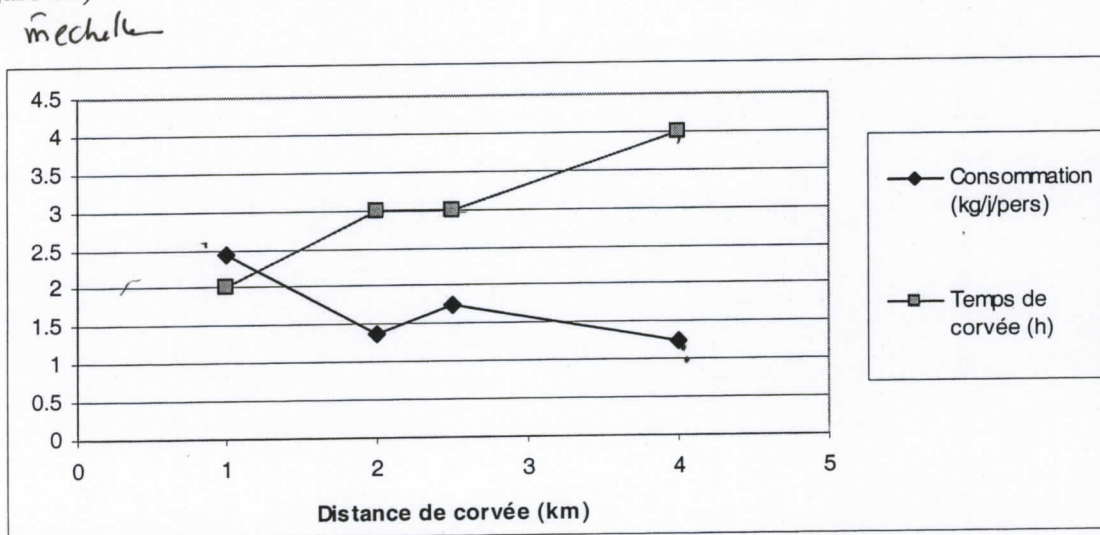


Figure 20 : Effets de la distance parcourue pour la collecte de bois sur la consommation moyenne des ruraux et sur le temps de corvée dans 15 villages maliens.

*Arromaneje 4 km.  
(selon structure ult. zone...)*

*20 x 300 = 6 km*

*Circole / urbane .  
Ct opportunité ....*

*Oui  
? m'choix  
au Nys !*

*Pour dans  
set o'  
nir -*

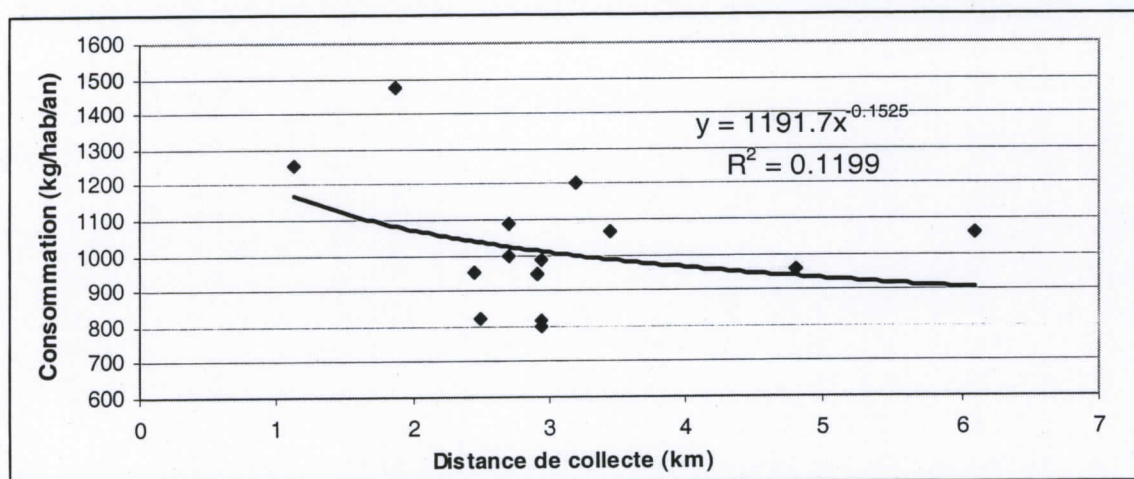


Figure 21 : Diminution de la consommation moyenne des ruraux en fonction de la distance de collecte dans 14 villages soudanais (source : [OLS85]).

Même si les comportements peuvent être différents pour une collecte à but commercial, la distance reste un facteur important dans la décision des exploitants. L'enquête menée par G. Konate en 2000 au Mali [KON99] montre qu'il existe une distance seuil au-delà de laquelle les motivations des exploitants décroissent fortement : les femmes notamment choisissent d'arrêter leur activité. Au Niger, cette distance seuil serait de l'ordre de 10 km, au-delà, la collecte est effectuée par les hommes ou les jeunes disponibles [PEI91].

### Les moyens de transport disponibles

Le recours à une charrette à âne diminue le temps de collecte et permet également d'accéder à de nouvelles formations boisées plus éloignées et donc soit de couper des quantités plus importantes, soit d'accéder à des bois de meilleure qualité (essences mieux appréciées, bois de plus gros diamètres ...)

La disponibilité d'un attelage (ânes ou bœufs) permet également de gagner du temps en réduisant l'effort nécessaire aux travaux agricoles en ayant recours notamment au labour par traction animale.

### La main-d'œuvre disponible et la pauvreté des ménages

Comme la plupart des activités en milieu rural, l'unité économique de production est la famille. Le recours à une main-d'œuvre extra familiale est très rare.

La pénibilité du travail et le manque de valorisation sociale de l'activité conduisent principalement les familles les plus pauvres et les moins intégrées à se lancer dans l'exploitation du bois.

Paradoxalement, ces familles sont également celles disposant le moins de main-d'œuvre disponible. Au Sahel, les familles rurales les plus pauvres sont en général celles possédant le moins de terre, le moins de moyens techniques et le moins de membres : au Niger, dans la région de Maradi, M.R. Moller dénombre une moyenne de 5 personnes dans les foyers ruraux les plus pauvres, contre 15 dans les plus riches. De la même façon, au Mali, L.C. Becker compte 13 personnes chez les paysans pauvres contre 40 chez les riches.

Les études sociologiques menées par la CCL dans le bassin de Bamako au Mali mettent en évidence que les familles exploitant le bois disposent en moyenne de 7 à 8 personnes de plus de 14 ans. Dans ces familles, la main-d'œuvre juvénile (entre 10 et 15 ans) est souvent la seule main-d'œuvre réellement disponible pour l'exploitation du bois.



Malheureusement, à notre connaissance, aucune étude significative n'a été menée sur les liens entre la structure des ménages ruraux et la production de bois. Nous ne disposons donc pas de données de recensement permettant d'estimer la richesse et la structure des ménages par village et ne pourrions donc pas prendre en compte ce facteur dans le modèle.

Cependant, il est à noter, notamment au Mali, que les nouvelles politiques de gestion des ressources ligneuses (cf encadré SED) revalorisent l'activité aux yeux de beaucoup. Ainsi, autour de Bamako, de nombreux fils de notables se lancent dans l'exploitation du bois et dans la commercialisation du charbon de bois (B. Hautdidier, communication personnelle).

L'exploitation du bois semble donc gagner toutes les couches sociales, ce qui relativise le poids du facteur « pauvreté ».

Nous ferons l'hypothèse qu'actuellement, toutes les familles des villages producteurs participent à l'exploitation du bois. **La population totale du village sera donc considérée comme représentative de la main-d'œuvre potentiellement disponible.**

### La pénibilité du travail de coupe

Faute de données, nous considérerons qu'elle est la même quelle que soit la zone de production. Ce facteur n'entrera donc pas en soi dans le modèle.

### La disponibilité de la ressource

Le contrôle sur la ressource augmente avec le degré d'utilisation agricole des terres sur lesquelles elle se trouve. Nous ne disposons pas actuellement de données précises sur les origines du bois (champs, jachère, brousses...). Néanmoins, on peut supposer que la disponibilité de la ressource est une fonction croissante de la saturation foncière du village.

CF juste cela - effet contrôle n'y sont pas.

de?  
2.  
hypothèse

### 3.5.1.2. La densité de population: un indicateur synthétique de l'effort à l'échelle du village

**La quantité de travail nécessaire à l'exploitation est essentiellement liée à l'effort de déplacement.**

no  
Ct hors  
tps de plct

Ce dernier sera modélisé en considérant le produit des 3 facteurs :

1. La saturation foncière ;
2. La disponibilité en moyens de transports intermédiaires ;
3. La population, supposée représentative de la main-d'œuvre disponible ;

avec l'hypothèse suivante : *plus la saturation est faible, plus les moyens sont disponibles, plus la main-d'œuvre est importante et moins l'effort est important.*

et  
l'effort  
sera

La saturation foncière (surface agricole/surface terroir) traduit à la fois la ressource disponible dans les brousses et la distance à parcourir pour la collecter : plus l'espace est saturé, moins les brousses sont importantes et plus la distance de collecte est grande. Cependant, même en situation de saturation totale, la production de bois conserve une valeur résiduelle. Les ressources des champs et des jachères (parfois très importantes) sont alors mobilisées. On supposera donc que l'effort augmente avec la saturation foncière pour atteindre un palier au delà duquel la distance devient trop grande et/ou la ressource devient limitée.

D'autre part, la saturation foncière est corrélée très fortement à la population des villages.

L'étude d'Olsson au Soudan [OLS85] démontre qu'il existe un lien fort entre la population et les distances de collecte. Plus le nombre d'habitants est important, plus les distances parcourues pour la collecte du bois deviennent importantes (Figure 22).



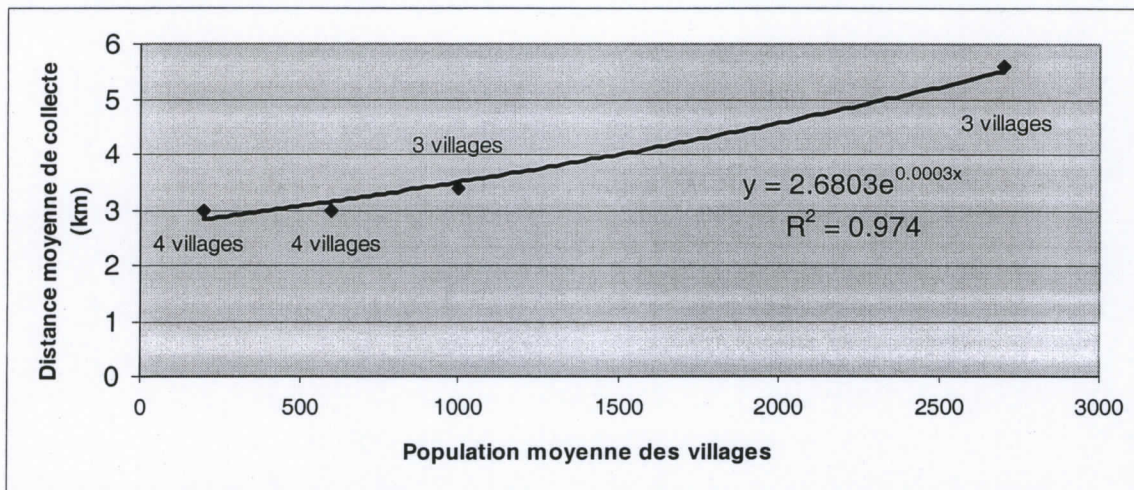


Figure 22 : Evolution de la distance de collecte en fonction de la population des villages.  
Source : Enquête datant de 1985 sur 14 villages du centre du Soudan (Région de Umm Ruwaba) [OLS85]

ok!

L'analyse de la relation entre la production villageoise et leur densité de population<sup>19</sup> sur le bassin de Bamako montre que les prélèvements ont tendance à augmenter jusqu'à des tailles de villages de l'ordre de 30 hab/km<sup>2</sup> et à diminuer au delà ou tout du moins à se stabiliser. On retrouve l'hypothèse précédemment énoncée d'un seuil de saturation de l'espace au delà duquel l'effort de déplacement et/ou la rareté de la ressource stabilisent la production.

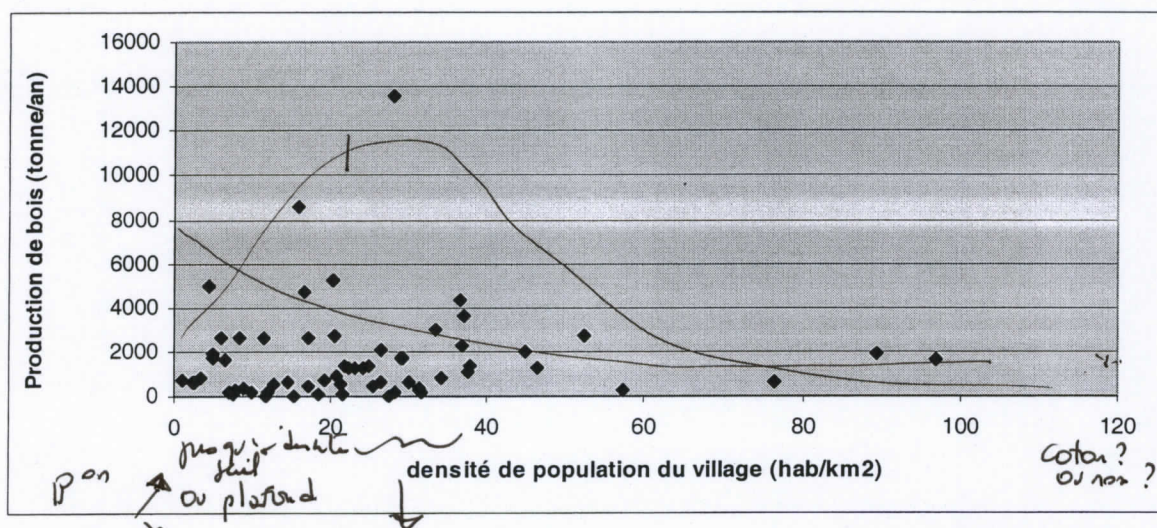


Figure 23 : Forme « en cloche » de l'évolution de la production en fonction de la densité de population des villages

L'effort global de collecte d'un village apparaît donc comme fortement lié à la densité de population. L'augmentation de la population entraîne un accroissement des surfaces cultivées compensé par une augmentation de la main-d'œuvre disponible. Cette compensation est valable jusqu'à un seuil de densité (donc de saturation de l'espace) rendant soit les

<sup>19</sup> Il n'existe pas de délimitation officielle des villages dans la plupart des pays du Sahel. Leur surface a été estimée en construisant le graphe de Voronoï associé aux centres des villages du bassin. Le diagramme obtenu est donc purement géométrique et suppose que la limite entre deux villages correspond à la médiatrice du segment reliant leurs centres respectifs.



déplacements trop importants soit la ressource moins disponible. Ce seuil dépend a priori de la surface agricole disponible dans le village.

Nous ferons l'hypothèse que la préférence globale pour la collecte est le résultat du produit entre une préférence pour le travail qui augmente avec la densité de population et d'une disponibilité de la ressource qui au contraire diminue avec celle-ci.

Nous proposons de formaliser la préférence des producteurs pour le travail sous la forme d'une fonction exponentielle négative normée de la densité de population

$$\text{Préférence}_{\text{travail}} = \frac{1}{\text{Effort}_{\text{travail}}} = 1 - \exp(-\beta * DPop)$$

$\beta$  est un paramètre de forme positif traduisant la vitesse de croissance de la préférence avec la densité de population : Plus  $\beta$  est grand, plus la préférence croît rapidement avec la densité de population.  $\beta$  serait compris entre 0,01 et 0,2. Ce coefficient varie d'un village à l'autre. Il augmente avec la disponibilité en moyens de transport et avec la main-d'œuvre réellement disponible (préférences plus fortes même avec une faible densité de population).

$DPop$  est la densité de population du village de production.

On modélisera également la disponibilité de la ressource en fonction de cette même densité de population sous la forme d'une exponentielle négative.

$$\text{Disponibilité} = \alpha * \exp(-\delta * DPop)$$

$\alpha$  est un coefficient d'ajustement. On peut le considérer égal à 2

$\delta$  est un coefficient de forme qui dépend du degré de maîtrise foncière. Plus la maîtrise est forte, plus  $\delta$  sera fort et plus la décroissance de la disponibilité avec la population sera forte.  $\delta$  est du même ordre de grandeur que  $\beta$ .

La Figure 24 représente les courbes d'évolution de la préférence pour le travail, de la disponibilité de la ressource et de la préférence globale pour la collecte, modélisées avec des valeurs de  $\beta = 0.05$  et  $\delta = 0.02$ .

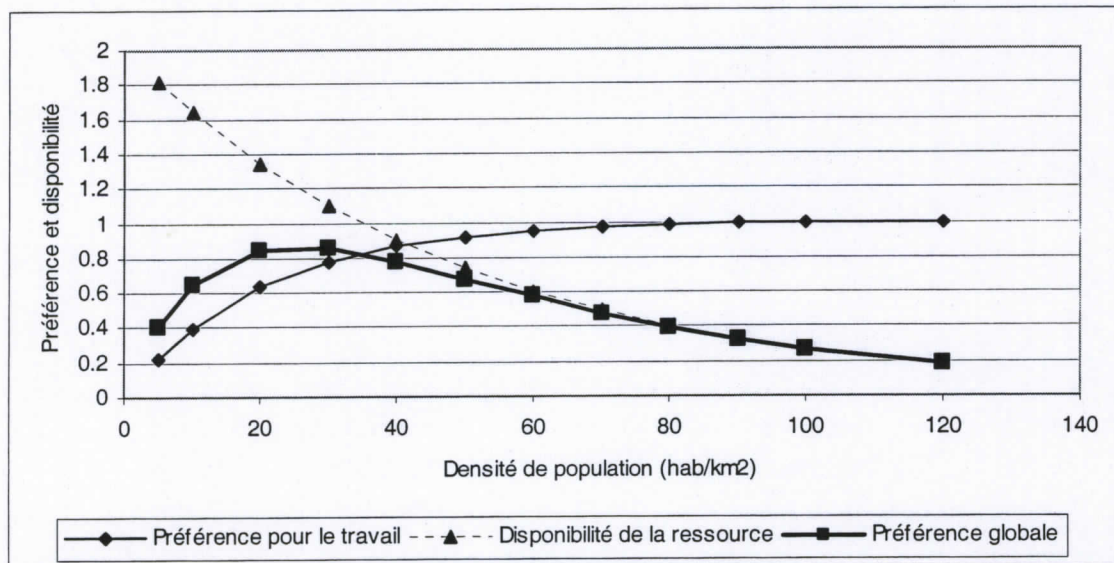


Figure 24 : Modélisation de la préférence pour le travail, la disponibilité de la ressource et de la préférence globale en fonction de la population du village



### 3.5.1.3. *L'accès au point de vente*

Très peu de producteurs disposent de leurs propres moyens de transport pour relier les points de vente. Ils portent leur production à dos d'homme ou louent alors une charrette. Le prix de location n'est pas nécessairement fixé en fonction de la distance mais plutôt à la journée.

Une des revendications prioritaires des producteurs (de charbon comme de bois) est de pouvoir acheter une charrette et son attelage. Une charrette à âne peut transporter en moyenne 400 kg soit 5 à 6 sacs de charbon de bois et coûte en moyenne 300 €. Une charrette à bœuf a une capacité de charge de l'ordre de 1000 kg et coûte environ 500 € pour une charrette à bœuf (source World Bank 2001 [STA01]). Les subventions ou crédits pour l'achat de ces outils de transport « intermédiaire » sont rares. Les charrettes sont donc la propriété des paysans les plus riches qui amortissent ainsi leur investissement ou des charretiers spécialisés.

L'objectif visé par le paysan-bûcheron est de pouvoir se déplacer sur le marché, vendre sa marchandise et retourner dans son village dans la même journée. Lorsque le village est très éloigné (au-delà de 20 km), certains peuvent effectuer le voyage la veille au soir, vendre leur production le matin et s'en retourner dans l'après midi. Cette pratique n'est rendue possible que si le producteur dispose de connaissances l'hébergeant à proximité du point de vente.

La vitesse de progression d'une charrette à âne sur une piste saisonnière est de l'ordre de 6 km/h [STA01]. Le manque de charrettes limite actuellement la production des zones éloignées des routes. De 1 à 6 km, les producteurs peuvent effectuer plusieurs voyages par jour jusqu'au point de vente. De 6 à environ 24 km, un seul voyage journalier est possible. Au-delà, l'acheminement des produits devient trop consommateur de temps.

La distance limite de 24 km, correspondant à une durée limite de transport de 4 heures est encore plus faible en saison des pluies lorsque les pistes deviennent difficilement praticables.

**Le choix du point de vente se fait essentiellement en fonction de sa distance** par rapport au village de production et des facilités offertes : autorisations, aires de stockage. Cependant, nous ne disposons pas d'éléments sur ce dernier facteur. On supposera donc que seul l'éloignement intervient dans ce choix.

Le point de vente de chaque zone de production se trouve donc être situé dans le village en bordure de route (classe 1 ou 2) le plus accessible compte-tenu du type de piste empruntée et de leur état.

### 3.5.1.4. *Les possibilités de revenus offerts par le voisinage de la ville*

Plus on est proche de la ville, plus les opportunités d'activités rémunératrices sont importantes [MOL98]. Le maraîchage, l'élevage de poules, de lapins ou de petits ruminants dans les zones péri-urbaines, proches ou éloignées, sont des activités en plein essor qui assurent des revenus aux agriculteurs. A Bamako, ces activités se développent jusqu'à des distances de l'ordre de 30 km autour de l'espace bâti [CEN96] mais la spéculation foncière sur les terrains constructibles et l'extension de la ville repoussent de plus en plus loin ces producteurs péri-urbains.

Ces systèmes de production sont variés et correspondent soit à des producteurs très spécialisés, soit à des paysans voyant là un moyen de diversification de leurs revenus. En 1996, le nombre de personnes tirant des revenus réguliers du maraîchage étaient estimés entre 10000 et 15000 autour de Bamako [CEN96].

Le passage à ce type d'agriculture intensive, ou tout du moins intensifiée, demande cependant une capacité d'investissement pour l'achat d'animaux, d'engrais, de fourrage, etc .. L'absence de crédit officiel écarte les familles les plus pauvres de l'accès à ce type de



diversification. Les plus pauvres ont donc tendance à se consacrer à des activités ne demandant pas de moyens techniques : salariat agricole, cueillette (dont le bois), petit commerce et petit artisanat ; tandis que les plus riches recherchent des activités plus exigeantes en capital mais plus rémunératrices [REA93].

**Même dans les zones péri-urbaines, l'activité de collecte de bois reste un moyen de diversification des revenus pour les ménages les plus pauvres.**

### **3.5.2. Les préférences des grossistes**

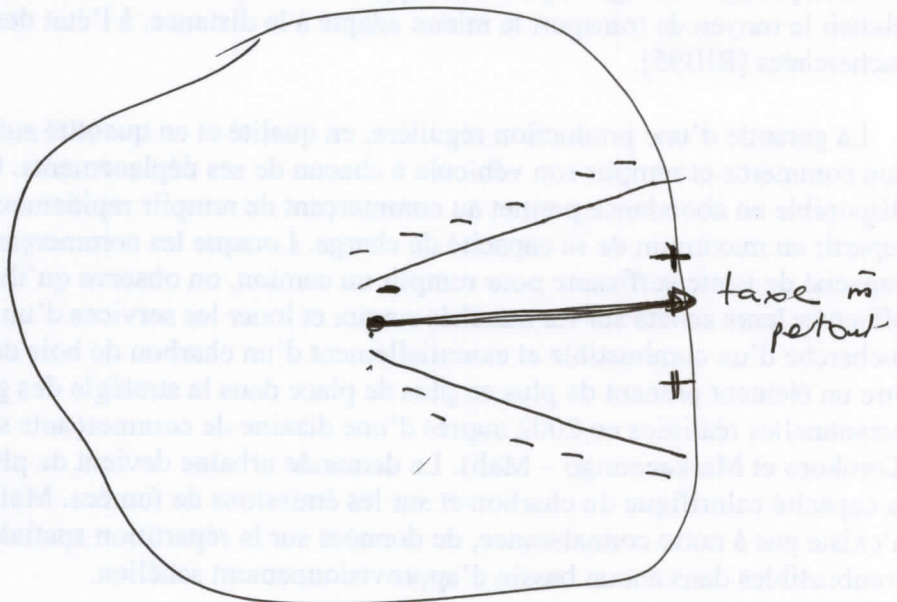
Pour le commerçant-transporteur, le choix d'une zone d'approvisionnement dépend essentiellement de 3 facteurs :

Le rayon d'action du moyen de transport auquel il peut accéder. Les transports non motorisés qui tendent à disparaître au fur et à mesure de la professionnalisation de l'activité ne peuvent pas dépasser un certain rayon d'action, tandis que le transport motorisé (camion, semi-remorque) n'est pas limité en distance. **A priori, dans le type de chaîne d'approvisionnement étudié, il n'existe pas de monopole du transport.** Chaque commerçant, petit ou gros, peut faire appel au transporteur de son choix. Il est donc libre de choisir le moyen de transport le mieux adapté à la distance, à l'état des routes et aux quantités recherchées [RIB95].

La garantie d'une production régulière, en qualité et en quantité suffisantes pour alimenter son commerce et remplir son véhicule à chacun de ses déplacements. Une ressource disponible en abondance permet au commerçant de remplir rapidement son véhicule et de repartir au maximum de sa capacité de charge. Lorsque les commerçants n'ont pas une capacité de vente suffisante pour remplir un camion, on observe qu'ils se regroupent pour effectuer leurs achats sur les marchés ruraux et louer les services d'un transporteur. La recherche d'un combustible et essentiellement d'un charbon de bois de bonne qualité semble être un élément prenant de plus en plus de place dans la stratégie des grossistes (enquêtes personnelles réalisées en 2002 auprès d'une dizaine de commerçants sur les marchés de Korokoro et Markacoungo – Mali). La demande urbaine devient de plus en plus exigeante sur la capacité calorifique du charbon et sur les émissions de fumées. Malheureusement, il n'existe pas à notre connaissance, de données sur la répartition spatiale de la qualité des combustibles dans aucun bassin d'approvisionnement sahélien.

Le coût d'achat du combustible en bord de route ou sur l'aire de production, qui doit garantir une marge suffisante pour le commerçant compte tenu du coût de transport et du prix de vente en ville. Il est difficile de savoir précisément comment se forme le prix de vente sur le lieu de production. Il est clair que dans tous les pays sahéliens, les producteurs ne connaissent pas le prix réel de leurs produits vendus dans les zones urbaines. Pendant longtemps, les pratiques des négociants commerçants utilisant leurs propres équipes de bûcherons et intervenant directement dans les villages ont eu pour conséquence de maintenir des prix de combustible très bas. Actuellement, ce type de pratique est en déclin partout et le prix est issu des négociations entre producteurs ruraux et commerçants-transporteurs. On observe une contractualisation morale entre producteur et commerçant. Les commerçants cherchent à fidéliser leurs producteurs en leur assurant des débouchés réguliers, en contrepartie de quoi les producteurs s'engagent à les approvisionner de manière régulière et en quantité suffisante. Cette fidélisation peut se traduire par des ristournes accordées sur le prix du bois.

1. taxe d'ill. théo.
  2. taxe d'ill. la p. chole larale
- B- Repartition  
Compos 3 → ?





### 3.5.2.1. Le poids très relatif du coût du transport

Le tableau retrace la structure des prix d'un kg bois ou d'un kg de charbon livré par camion à Bamako (1994), Niamey (1991) et Dakar (1995).

Ville	Dakar	Niamey	Bamako	Bamako	Bamako
Produit	1 kg charbon de bois	1 kg de bois de feu	1 kg de bois de feu	1 kg de charbon de bois	1 kg de charbon de bois
Distance moyenne de transport	400	40	60	60	60
Moyen de transport	Camion	camionnette	camion	camionnette	camion
Prix de vente producteur	14	3.5	4	28	26
Prix de vente en gros	77	10	11	48	46
Prix de vente au détail	95	18	23	100	100
Marge grossiste	30	4.3	4	4	14
Marge détaillant	12	7.5	8	8	24 à 52
Coût du transport	21	4.2	2.5	16	6
Taxes forestières	1.5	1.4	0.8	0.8	0.8

kg  
12+26  
= 38  
14  
46

Tableau 11 : Structure des prix (en FCFA) du bois de feu et du charbon dans différentes capitales du Sahel (sources : [RIB95], [PEI91], [CCL98], [BAZ01])

Le coût du transport représente entre 6 et 23 % du prix de vente en ville. Ce coût, supporté par les grossistes est leur plus gros poste de dépenses. En comparaison, les taxes forestières redevables à l'Etat sont négligeables.

Dans ce contexte on peut considérer que la marge du grossiste est égale à:

Pas la taxe?

Marge = prix de vente en ville - prix d'achat aux producteurs - coût marginal du transport.

Le prix de vente en ville peut être considéré comme une donnée connue du grossiste. A l'échelle de l'année, ce prix évolue au cours des saisons, mais ces variations sont prévisibles et ne constituent pas de réels facteurs de modification des stratégies des commerçants.

**La marge des grossistes dépend donc essentiellement du coût du transport.** Ce coût dépend à la fois de la distance, du moyen de transport utilisé, du type de route pratiqué et du produit.

Les tarifs officiels maliens de transport de fret mettent en évidence un rapport de 1 à 2 entre les prix demandés sur une route en bon état par rapport à une piste. Ces prix s'entendent « camion chargé ». Lorsque le camion est en partie vide, le prix à la tonne augmente car le transporteur fait supporter un coût fixe variable selon la capacité du moyen de transport.

En 1996, les tarifs pratiqués pour le transport de bois en camion étaient de l'ordre de 0,08 €/tonne/km sur route bitumée.

Les coûts sont pratiquement identiques entre les camions de 8 à 10 tonnes de charge utile et les semi-remorques de 15 tonnes. En revanche, les camionnettes (1,3 tonne de charge utile) représentent un moyen de transport deux fois plus onéreux.

De plus, ce coût n'est pas indépendant de la valeur pondérale du chargement. Le coût de transport du charbon de bois (vendu 100 FCFA/kg à Bamako / 0,15 €) est ainsi 2,5 fois plus élevé que celui du bois (vendu 23 FCFA/kg à Bamako / 0,035 €).

46

x.2



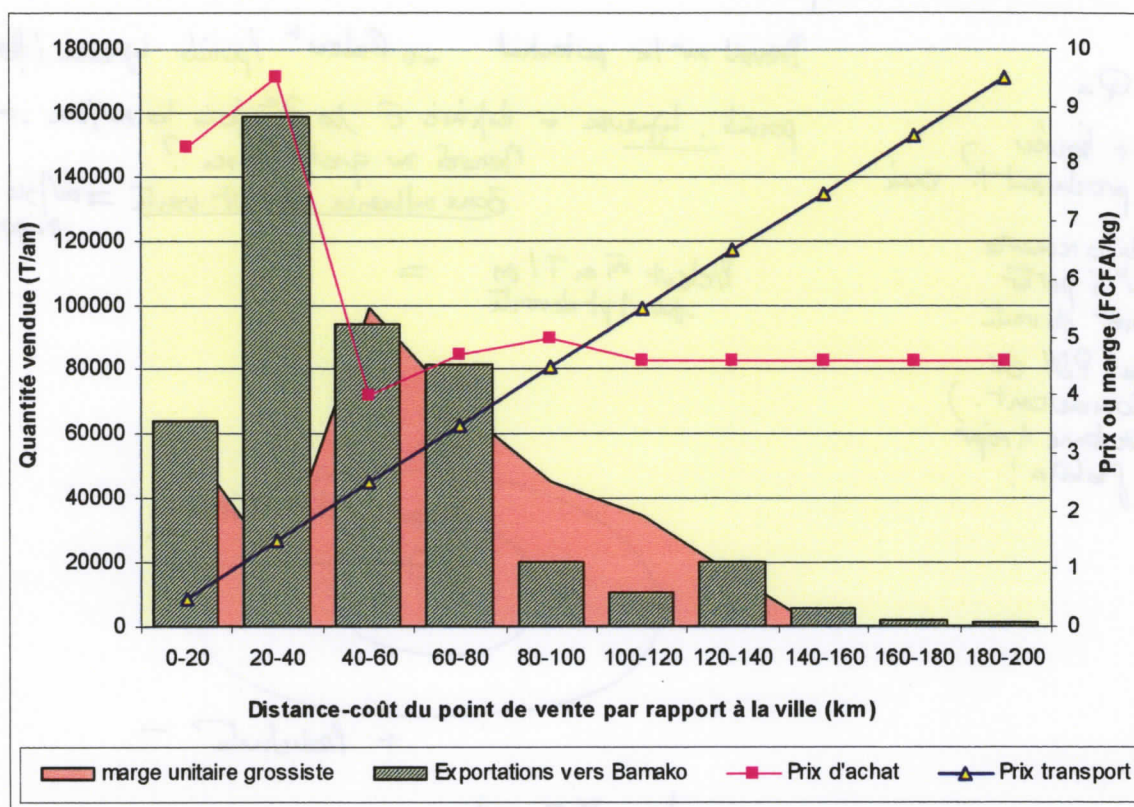


Figure 25 : Evolution de la marge des grossistes et de la production en fonction de l'éloignement des points de vente.

En se basant sur les enquêtes CCL de 1994 et en faisant l'hypothèse d'un coût de transport linéaire, la Figure 25 retrace l'évolution de la marge unitaire des grossistes en fonction de l'éloignement des points de vente.

Ce graphique nous permet d'énoncer et de vérifier certaines hypothèses sur le comportement des grossistes :

- Les abords de la ville sont encore privilégiés malgré des marges unitaires très faibles. Les grossistes ne raisonnent donc pas nécessairement sur la marge unitaire mais sur une marge brute tenant compte des volumes commercialisés.
- Les marges théoriques des grossistes leur permettent d'aller chercher le bois jusqu'à des distances de 120 km. Cette hypothèse est confirmée par le fait que malgré un coût unitaire double par rapport au camion, le transport par camionnette continue d'assurer encore 30% de l'approvisionnement de Bamako.
- Bien que les grossistes disposent d'une certaine latitude dans le choix de leurs points de vente, le poids de l'accessibilité (plus que du coût de transport) est encore très fort ; Cependant, la périphérie immédiate de la ville souffre d'une maîtrise foncière forte et d'une possibilité ligneuse réduite. Comme le montre la Figure 26, le commerce ne se développe qu'à partir d'une ceinture pouvant assurer une production suffisante pour satisfaire les grossistes.

### 3.5.2.2. L'attrait de la possibilité ligneuse

La Figure 26 exprime les prélèvements commerciaux, le nombre de villages exploitant le bois et la possibilité ligneuse en fonction de l'éloignement des points de vente.



# Explic<sup>o</sup> l'orient

Q =

? zone + barière ?  
qui produisent t. oui

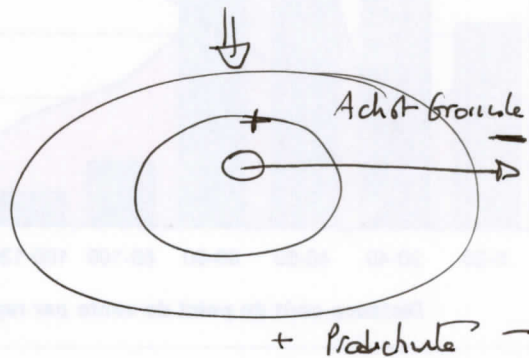
Vin de la ressource  
du C<sup>r</sup> i partir  
du point de vente  
(repère PDV du  
commerçant.)  
à donner 1 repr  
globale !

Travail sur le potentiel  $\Rightarrow$  Prelev<sup>t</sup> / points . ligneuse (fca

points . ligneuse = définir c<sup>o</sup> la 1<sup>re</sup> fois la m/xe  $\Rightarrow$  P<sup>e</sup> dylla  
Nervée au grille espace ?

Zone influence du pt vente  $\Rightarrow$  au/ou village liés  
au point de vente

Prelev<sup>t</sup> m a T / on  
sur 1 pt de vente =



hypothèse si

dans-tout les schéma - Directeurs d'Amen o/p

Un outil { sous-volonté / sous-utilisés.

cellule : pl. morte. maille commune au Ndi  
elle n'est pas adaptée  
pas d'analyse au la pshir  
maille l'oppe au Ndi ?

Exercice de C<sup>o</sup>  
dedicacé  
par d'a barre  
échelle.

+ d're analyse (planific<sup>o</sup>  
général)

Ni pr Cohérence de 1 commune -

Schéma Directeurs

prévoir

SDA ?

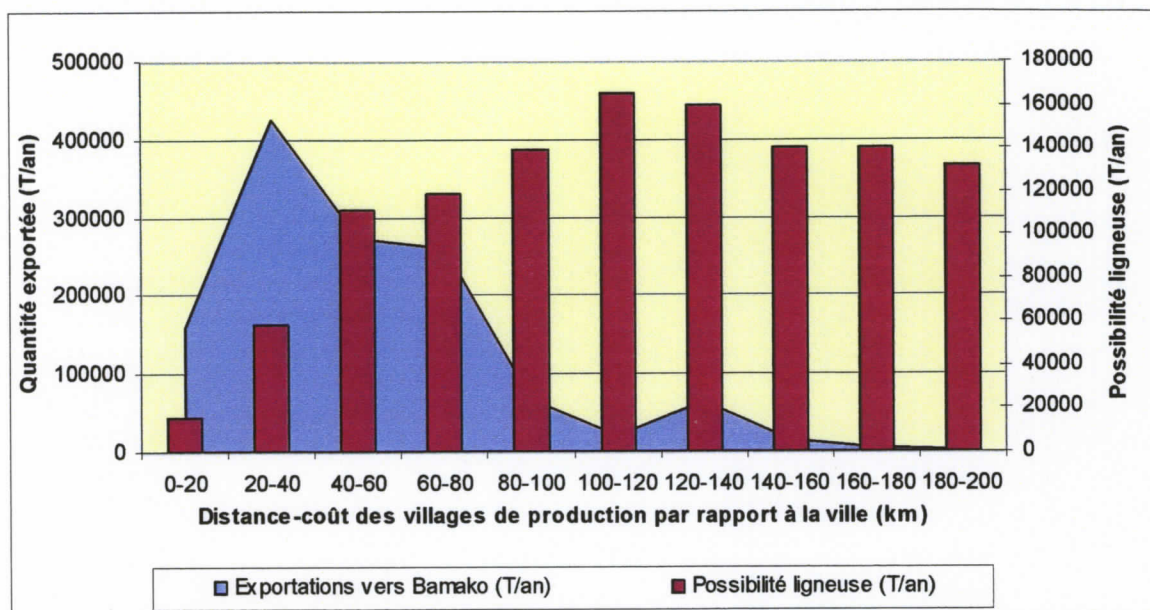


Figure 26 : Evolution des quantités produites en fonction de l'accessibilité à la ville et de la possibilité ligneuse.

Sous la forme d'un modèle gravitaire, les tendances mises en évidence ci-dessus deviennent :

Prélèvement moyen par point de vente =  $4 \cdot 10^{-9} \cdot \text{Possibilité}^{3.5} / \text{Eloignement du point de vente}^{4.42}$

*en T/an.* *P<sup>e</sup> sur la ville les on P<sup>ADN</sup>* *de la ville.* *explique*

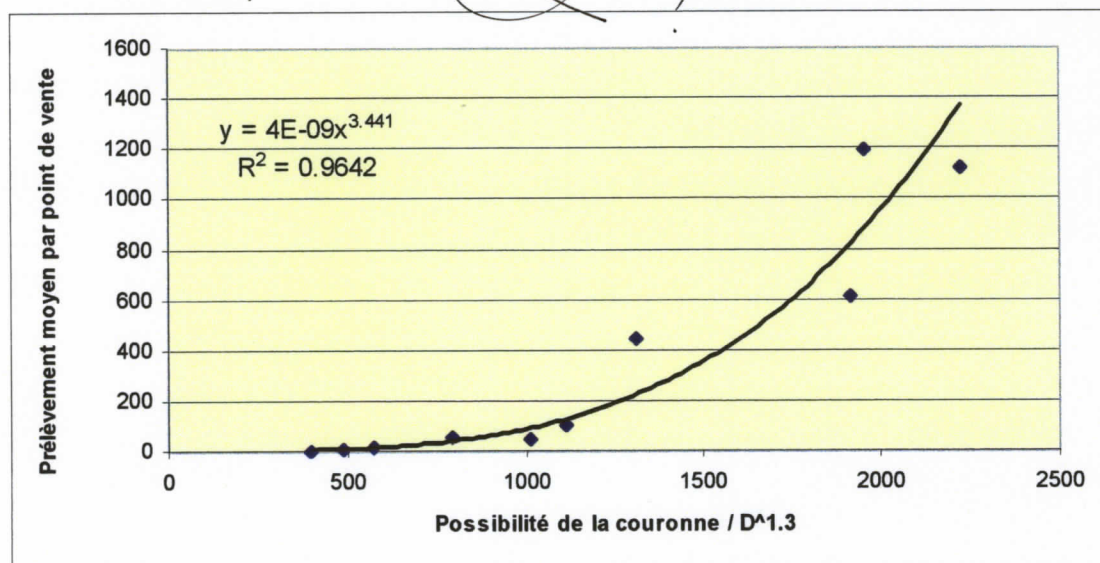


Figure 27 : Formalisation de la relation entre Prélèvement, Possibilité et Distance au niveau du point de vente

Cette relation montre que la pression moyenne par point de vente est une fonction croissante de la possibilité globale de la « couronne » dans laquelle il se trouve (attractivité moyenne de la zone) et fortement décroissante de son éloignement à la ville. Une « couronne » correspond à l'ensemble des zones situées à égale accessibilité de la ville. Dans un milieu isotrope ces zones correspondent à des anneaux concentriques.



### 3.5.2.3. La concentration des points de vente : une stratégie commune des producteurs et des grossistes.

**La concentration des points de vente est une tendance actuelle, favorisée par les autorités de contrôle et par la profession.**

L'administration forestière disposant de moins en moins d'agents, ils ont à couvrir des territoires de plus en plus grands. Pour les autorités, la concentration des points de vente permet un meilleur contrôle des quantités vendues.

Pour les producteurs, elle permet de proposer un prix unique pour tous les vendeurs et d'offrir ainsi une force de négociation plus forte face aux acheteurs urbains.

D'un autre côté, la vente reste encore individuelle. Pour le commerçant, la concentration des points de vente permet de faire jouer la concurrence entre les producteurs afin de bénéficier des meilleurs prix.

Enfin, la présentation d'une offre abondante en bord de route est un attrait commercial. La concentration des points de vente permet aux commerçants, lors d'un même voyage, de pouvoir s'adresser à plusieurs producteurs afin de disposer des quantités et qualités voulues.

### 3.5.3. Conclusions et hypothèses retenues

#### 3.5.3.1. Les préférences des paysans-bûcherons

Ce sont les agriculteurs jeunes et pauvres qui se tournent majoritairement vers l'exploitation du bois même si cette activité tend à toucher toutes les couches de la société rurale.

Dans les zones péri-urbaines, cette même population continue de se tourner vers l'exploitation de bois car l'accès au crédit qui leur permettrait de diversifier leur activité leur est refusé.

Les paysans exploitent en fonction d'un effort global de collecte. Il est essentiellement lié à la saturation foncière du village et à la disponibilité de la ressource. Il existe un taux de saturation au-delà duquel, cet effort devient trop important ce qui provoque le déclin de l'activité.

La concurrence entre les points de vente est faible, les producteurs choisissent le village en bordure d'une voie fréquentée le plus proche.

L'accessibilité entre le village et le point de vente en bord de route est un élément déterminant de l'activité. Les volumes mis sur le marché décroissent en fonction de la distance, jusqu'à être négligeables lorsque la distance atteint le seuil d'environ 24 km ce qui correspond à un temps de trajet de 4 heures.

#### 3.5.3.2. Les préférences des grossistes

Les grossistes choisissent en priorité de s'approvisionner dans les points de vente les plus accessibles leur assurant des quantités suffisantes pour remplir régulièrement leur moyen de transport. La possibilité ligneuse autour des points de vente semble être un bon indicateur de leur émissivité.

Ils préféreront fréquenter des villages ou des ensembles de villages concentrant plusieurs points de vente afin de pouvoir négocier et limiter les risques de retourner en ville avec des productions insuffisantes en quantité et en qualité.

### 3.6. Le modèle résultant : une traduction des préférences des acteurs

#### 3.6.1. Le modèle d'interaction « production primaire »

Sur ce segment, l'entité émettrice est la zone de production k et le récepteur, le village de vente associé j.

L'émissivité de la zone de production correspond à son potentiel de production. Il est proportionnel à la disponibilité de la ressource, de la préférence de travail et de la possibilité de la ressource.

L'attractivité du village de vente pourrait correspondre aux facilités offertes pour la commercialisation (emplacement en bord de route, absence de contrôle ...). A priori, ces facteurs jouent peu et nous ne les considérerons pas.

La concentration des villages de vente, n'entre pas en compte dans le choix du producteur.

Les flux entre le village de production et son village de vente en bord de route sont estimés par :

$$I_{jk} = B_k e_k d_{jk}^{\lambda}$$

avec

$B_k = I_{ij} * \left( \sum_k e_k d_{jk}^{\lambda} \right)^{-1}$  : facteur d'équilibre assurant la conservation des flux au niveau des points de vente k

$$e_k = Pref_k * Dispo_k * Poss_k$$

avec  $Pref_k = 1 - \exp(-\beta_k * DPop_k)$ , la préférence pour le travail

$Dispo_k = \alpha * \exp(-\delta_k * DPop_k)$ , la disponibilité de la ressource

$Poss_k$ , la possibilité annuelle du village (Tonne/an)

$DPop_k$  la densité de population du village k (hab/km<sup>2</sup>)

$$\alpha = 2$$

signification

×  $\beta_k$  est un coefficient caractérisant la vitesse croissance de la préférence pour le travail en fonction de la densité de population. Ce coefficient est compris entre [0.01, 0.1]. Plus le village dispose de moyens de transports intermédiaires permettant de soulager la tâche, plus  $\beta_k$  sera important.

×  $\delta_k$  est un coefficient caractérisant la vitesse de décroissance de la disponibilité de la ressource avec la densité de population. Plus la maîtrise foncière et/ou le contrôle sur la ressource sont forts, plus  $\delta_k$  sera important.

$\beta_k$  et  $\delta_k$  sont des coefficients de même nature et de même grandeur e [0.02, 0.1].

$d_{jk}$  est la distance-coût du village de production par rapport à son point de vente.

$\lambda$  est, comme dans tous les modèles gravitaires, un coefficient traduisant la vitesse de décroissance des interactions avec la distance. Il est supposé unique et identique quelque soit le village et quelque soit le point de vente.

#### 3.6.2. Le modèle du segment « distribution de gros »

Sur ce segment, l'entité émettrice est le village de vente et le récepteur, son marché unique : la ville i

travail e  
fon

Sensibilité  
à la valeur  
paramètre?



L'émissivité du village de vente correspond à son potentiel d'approvisionnement. Comme nous venons de le voir ce facteur dépend de la possibilité ligneuse autour du point de vente et de la disponibilité de cette même ressource. Cette dernière augmente avec la distance à la ville.

L'attractivité de la ville ne sera pas considérée, dans la mesure où ce marché est supposé unique.

La concentration des points de vente est un facteur favorisant leur attractivité. Ce paramètre sera pris en compte par l'accessibilité globale du village de vente par rapport à ses concurrents.

Les flux entre la ville  $i$  et un village de vente  $j$  sont estimés par :

$$I_{ij} = k e_j A_{ij}^{\delta} d_{ij}^{\beta}$$

avec

$$k = C_i * \left( \sum_j e_j A_{ij}^{\delta} d_{ij}^{\beta} \right)^{-1}$$

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^w e_k d_{jk}^{\gamma} \text{ représente l'accessibilité du village de vente } j \text{ perçue par les grossistes}$$

de la ville  $i$ .  $\delta$  est un coefficient positif permettant de prendre en compte l'effet attractif de l'agglomération des points de vente.

$$e_j = Poss_j^{\alpha} * Fonc_j.$$

$Poss_j$  est la possibilité ligneuse totale (tonne/an) de l'ensemble des villages alimentant le point de vente  $k$

$\alpha$  est un coefficient d'ajustement.

$Fonc_j$  est une fonction rendant compte de la décroissance de la maîtrise foncière de la ressource avec la distance à la ville. Nous la modéliserons par une fonction exponentielle négative:

$$Fonc_j = 1 - \exp(-\delta * d_{ij}^{\beta})$$

$d_{ij}$  est la distance-coût du village  $j$  par rapport à la ville  $i$ .

$\beta$  est un coefficient traduisant la forme de la décroissance des flux avec l'accessibilité.

### 3.6.3. Conditions d'équilibre et méthodologie pratique de résolution

Comme mentionné dans le chapitre 1, le principal général de résolution du problème consiste à calculer les flux d'aval en amont de la chaîne en s'assurant de leur conservation en chacun des nœuds.

#### Etape 1 : Initialisation des caractéristiques géographiques des villages

Pour chaque village du bassin d'approvisionnement on estime:

- son accessibilité par rapport aux axes
- sa densité de population et sa ressource disponible (possibilité annuelle)
- le village de vente associé
- Les moyens de transports disponibles (effort de travail)
- Le degré de maîtrise foncière et d'appropriation individuelle des ressources (disponibilité)

Pour chaque village de vente :

- son accessibilité par rapport à la ville

- le nombre de points de vente potentiellement accueillis
- sa possibilité potentielle en sommant la ressource disponible dans les villages de production associés.

**Etape 2 :** Calcul des flux entre la ville  $i$  et chaque village de vente  $j$  selon le modèle d'interaction du segment « distribution en gros » en s'assurant que la somme des flux est égale à la consommation totale du centre urbain.

$$C_i = \sum_{j=1}^v I_{ij}$$

**Etape 3 :** Calcul des flux entre chaque village de vente  $j$  et chaque village de production  $k$  selon le modèle d'interaction « production primaire » en s'assurant qu'au niveau de chaque village de vente le flux sortant est égal à la somme des flux entrant :

$$I_{ij} = \sum_{k=1}^w I_{jk}$$



## 4. Application et test du modèle sur le bassin de Bamako

### 4.1. Objectifs et démarche

Comme nous le soulignons précédemment, le modèle développé n'a pas pour objectif de prédire précisément les flux au niveau villageois. Il exprime un potentiel de production en tenant compte du comportement moyen des acteurs de la filière et de leur situation géographique. L'écart entre flux observés et flux simulés permet de révéler les structures spatiales de la filière : axes préférentiels, discontinuités, concentrations ...

Cependant, en l'état actuel de nos recherches et surtout compte tenu de l'incertitude des données de flux dont nous disposons, il nous semble prématuré et inutile d'utiliser le modèle pour analyser ces écarts.

Dans ce contexte, la mise en application du modèle sur un cas réel a surtout pour objectif d'éprouver la faisabilité technique de la chaîne de traitement et de valider la forme générale des diverses fonctions introduites : possibilité, disponibilité, concentration des points de vente

De manière secondaire, elle permettra également de mettre en évidence les lacunes en terme de connaissance et de données disponibles.

Sans parler d'une réelle optimisation des paramètres du modèle, ces derniers ont fait l'objet d'un ajustement manuel et visuel permettant de restituer grossièrement la répartition spatiale de la production telle qu'observée en 1994.

Enfin, afin de valider la démarche générale de construction d'un modèle de type arborescent et d'en explorer ses intérêts, nous avons également comparé ses résultats avec ceux obtenus avec un modèle gravitaire simple entre le centre consommateur et les villages de production.

Dans le modèle classique « bipolaire », les flux entre la ville  $i$  et le village de production  $k$  seront estimés par :

$$I_{ik} = k * \underbrace{Fonc_k}_{\text{fonction de décroissance}} * \underbrace{e_k}_{\text{émissivité}} * \underbrace{d_{ik}^\beta}_{\text{distance au carré}}$$

avec

$$k = C_i * \left( \sum_k Fonc_k e_k d_{ik}^\beta \right)^{-1}$$

$Fonc_k$  est la fonction de décroissance de la maîtrise foncière de la ressource avec la distance à la ville telle que définie au chapitre 3.6.2.

$e_k$  est l'émissivité du village tel que définie au chapitre 3.6.1

**Les différents paramètres utilisés dans ce modèle bipolaire simple seront identiques à ceux ajustés sur le modèle arborescent.**

### 4.2. Mise en œuvre et paramétrage du modèle

#### 4.2.1. Etape 1 : Définition d'une surface de friction autour de Bamako

Une surface de friction est une surface où en tout point de l'espace sont définis les coûts unitaires de déplacements. Le coût unitaire de référence (égal à 1) a été considéré pour une route de classe 1, bitumée et en bon état.

En première approche, la voie ferrée n'a pas été considérée car nous ne disposons pas de données fiables sur le type de filière que draine ce moyen de communication. On supposera donc que tous les flux passent par la route.



Le fleuve a également été considéré comme impraticable pour le transport de bois et infranchissable également pour ce type de marchandise.

Type d'Occupation des sols	Coût unitaire / Kg
Route bitumée	1
Route en terre	1.5
Piste en terre accessible aux transports motorisé	2
Piste en terre accessible non accessible aux transports motorisé	4
Autre espace naturel ou cultivé	4
Fleuve	1000 )

d'où venir ?  
dans  
tail officiel

Tableau 12 : coûts unitaires de transport selon le type de voie de communication

avec l'unité ?  
?

#### 4.2.2. Etape 2 : Sélection des villages de production et des villages de vente

Tous les villages situés à une distance-coût de 200 km ont été sélectionnés soit un total de 2639 villages.

Tous les villages de plus de 1000 habitants situés à moins de 2 km d'une route ou piste accessible aux transports motorisés ont été retenus comme villages de vente (117 villages). Le choix du seuil de 1000 habitants reste à affiner.

Pour chaque village de production, on recherche le village de vente le plus proche. Si ce dernier est à plus de 25 km de distance (soit une distance coût de 60 km environ hors piste praticable), le village de production est écarté de la sélection.

#### 4.2.3. Etape 3 : Estimation pour chaque village de vente de la possibilité ligneuse et de sa disponibilité

Chaque village de vente est alimenté par un sous-bassin d'approvisionnement potentiel correspondant à un ensemble de villages producteurs situés à moins de 25 km. La possibilité ligneuse du village de vente est considérée égale à celle de ce sous-bassin.

La disponibilité de cette ressource est fonction de la distance-coût au centre urbain.

$$Fonc_j = 1 - \exp(-\delta * d_{ij}^\beta)$$

Cette dernière est très faible dans un rayon de 20 km environ autour de Bamako et augmente très rapidement passé ce seuil. Afin de simuler cet effet de palier, les coefficients ont été pris égaux à :  $\beta = 3$  et  $\delta = 0.00004$ .

Ainsi à une distance de 10 km la disponibilité de la ressource est de l'ordre de 5%, à 20 km de 30 %, à 30 km de 70 % et à 50 km ,elle devient égale à 100%.

pas pris  
en  
compte  
du tout  
le profil  
lignes ?  
non  
potentiel  
Pde  
Vente  
>

Dans le calcul de l'émissivité des villages de vente, la possibilité ne sera pas élevée à une puissance supérieure à 1. Compte-tenu de la forte imprécision du calcul de la possibilité, nous n'avons pas voulu donner un poids trop fort à cet élément dans l'attractivité des points de vente.

#### 4.2.4. Etape 4 : La concentration des points de vente et l'effet de l'éloignement de la ville

Dans notre modèle de type gravitaire « Bamako-Point de vente », l'exposant de la distance-coût est sans doute le paramètre d'ajustement le plus important. Comme nous l'avons vu précédemment, les marges importantes des grossistes de Bamako et les faibles coûts relatifs du transport leur permettent un large rayon d'action. La décroissance des flux avec la distance est donc assez lente. L'exposant de la distance-coût (kilométrique) restituant le mieux la



forme de cette décroissance est d'environ -1.4 ce qui est faible par rapport aux valeurs usuellement utilisées en géographie (valeur moyenne de -2).

Sans enquête précise au niveau des points de vente, il est très difficile d'ajuster le paramètre  $A_{ij}^{\delta} = (\sum_{k=1}^w e_k d_{jk}^{\gamma})$  rendant compte de l'effet de concentration des points de vente sur leur attractivité. Par défaut nous avons pris  $\gamma = -2$  et  $\delta = 1$ . Une étude de sensibilité à ces paramètres serait nécessaire pour affiner la simulation.

#### **4.2.5. Etape 5 : Estimation pour chaque village producteur de la possibilité ligneuse et de la préférence globale pour la production**

Au vu du nombre important de villages potentiellement producteurs, deux solutions étaient techniquement envisageables pour affiner les estimations de stock ligneux :

1. Numériser les cartes du PIRL et effectuer sous SIG les croisements géographiques permettant d'extraire les surfaces des formations végétales par village. Cette solution a été testée sur une petite zone. Elle demande beaucoup de travail pour un résultat médiocre. L'échelle de restitution au 1/200000 et l'imprécision de ces cartes réalisées à la main n'est pas adaptée à la petite taille des villages.
2. Interpréter les images satellitales LANDSAT 7 dont disposent le CIRAD et la CCL. Une tentative de classification automatique a été tentée sur un site à 60 km de Bamako. La forte imbrication entre formations forestières, jachères et champs rend très difficile et très hasardeuse cette méthode. Il serait alors nécessaire de passer à des méthodes d'interprétation supervisées ou totalement visuelles qui pourraient faire l'objet d'un travail de DEA à part entière.

Devant, les difficultés rencontrées et le temps nécessaire à les résoudre, la possibilité ligneuse villageoise a été estimée à partir des données fournies par la CCL à l'échelle des arrondissements (cf Carte 7).

La préférence globale pour le travail a été modélisée selon la forme en cloche paramétrée au chapitre précédent. Elle est le produit d'une préférence par le travail modérée par la disponibilité de la ressource.

$$\text{Préférence pour le travail} = 1 - \exp(-\beta * DPop)$$

$$\text{Disponibilité de la ressource} = \alpha * \exp(-\delta * DPop)$$

avec  $\alpha = 2$  ;  $\beta = 0.05$  et  $\delta = 0.02$ .

#### **4.2.6. Etape 6 : l'effet de l'éloignement des villages de production à la route**

Dans la limite des 25 km autour des villages de vente, la décroissance des flux avec la distance semble être assez faible. L'exposant de la distance-coût (kilométrique) a été pris égal à -0.5 afin de ne pas trop favoriser les villages en bordure de route.



### 4.3. Résultats et discussion

Les résultats de la simulation sur le bassin de Bamako sont illustrés par les trois cartes ci-après (cf Carte 9 et Carte 10 et Carte 11).

En l'état actuel des développements et des données disponibles, trois grands types de conclusions peuvent être tirées quant à la mise en application du modèle.

#### 4.3.1. Une mise en œuvre pratique aisée

Le modèle a été développé comme une chaîne de traitement faisant intervenir des outils devenus courants pour l'analyse et le traitement des données géographiques : IDRISI (Clark's Lab University) – un SIG de type « raster » pour les analyses spatiales de base et les calculs de distance-coût ; MAPINFO (Mapinfo corporation) - un SIG de type « vecteur » - pour la cartographie des résultats et ACCESS (Microsoft corporation) - un gestionnaire de bases de données relationnelles - pour les calculs de flux et la résolution des contraintes d'équilibre.

Sa mise en œuvre est aisée et ne fait appel qu'à des fonctions existant en standard dans les logiciels précités.

#### 4.3.2. Un équilibre général très influencé par l'état des routes et leur fréquentation

Comme mesure d'éloignement, nous avons introduit la distance-coût qui ne tient compte que de l'état des routes. Ce facteur est sans doute le paramètre le plus important du modèle. Il répartit les flux le long des axes routiers. Le paramétrage de ce facteur reflète des coûts de transport officiels. Il ne permet pas de restituer le déséquilibre est-ouest que l'on observe dans la répartition de la production. Bien que les routes « de l'est » aient été considérées en mauvais état, les flux modélisés sont systématiquement surestimés. L'échelle de coût de transport est donc certainement à revoir.

De plus le seul état de la route n'explique pas entièrement l'éloignement des zones de production. Un transport de bois dit « opportuniste » existe sur les axes fréquentés. Les camions assurant le trafic de marchandises diverses en provenance de l'est du pays, de la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso, chargent du bois lorsqu'ils ne sont totalement pleins. Ces pratiques favorisent ainsi les axes à fort trafic au détriment des autres. Un indice de trafic devrait donc être considéré dans la mesure de l'éloignement.

Distance -  
coût

ne  
retrouvant  
pas  
est-est

#### 4.3.3. La sélection des points de vente : une étape majeure de la chaîne de traitement

L'introduction de villages de vente présente un certain nombre de travers que nous avons pu identifier :

A production égale, le nombre de points de vente présents sur un axe influence le flux total simulé. Mathématiquement, plus ce nombre est élevé plus la somme des flux générés sera importante. Le schéma ci-dessous explique ce biais dans le cas très simple de deux points de vente que l'on remplacerait par un seul point de vente intermédiaire

Les points de vente très rapprochés les uns des autres sont très favorisés. La forme utilisée pour le calcul de l'accessibilité globale des points de vente (cf chapitre 3.6.2) favorise très fortement les concentrations le long des axes. Lorsque deux points de vente sont écartés de l'ordre de 1 à 2 kilomètres, leur attractivité est 10 fois supérieure à ce qu'elle serait pour des distances de l'ordre de 5 kilomètres. Ce biais qui ne correspond pas à une réalité économique peut être évité en imposant des distances minimales entre les points de vente.

Enfin, les villages de vente situés en « tête de réseau » sont alimentés par des sous-bassins plus grands que la moyenne.

Nbre  
pt vente

pour  
PB

pour

coefficient  
attractivité



La sélection des points de vente est donc une étape essentielle du modèle. Les critères de sélection restent à affiner par des enquêtes de terrain permettant de comprendre pourquoi certains villages adoptent (ou se voient attribuer) ce statut et pourquoi d'autres pas.

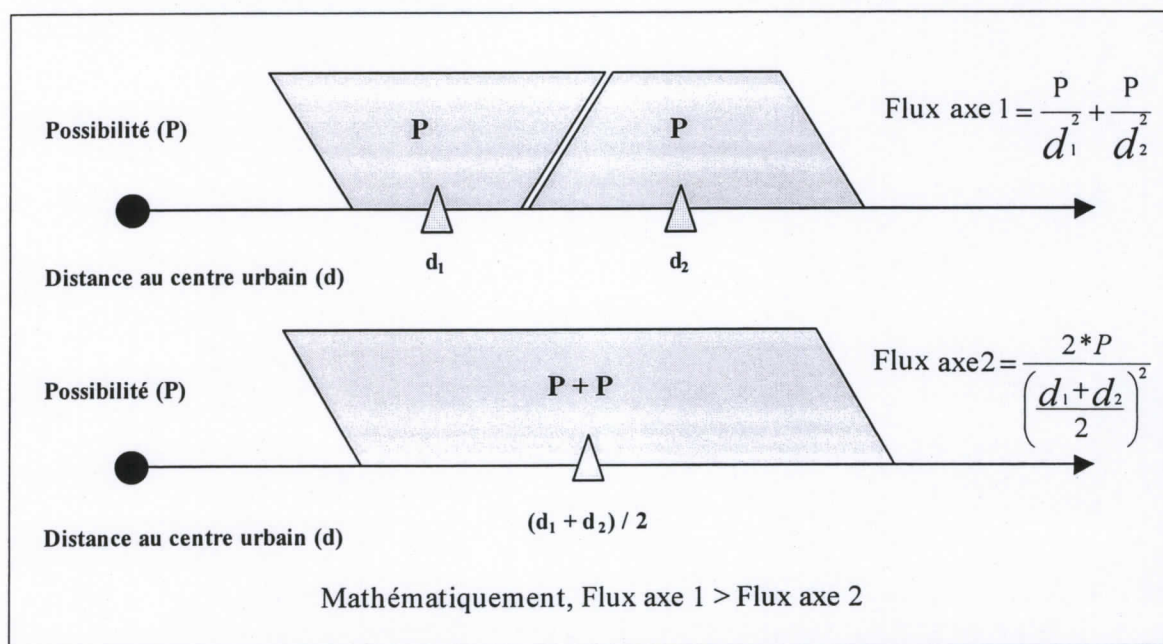


Figure 28 : Principe de réduction des flux avec le nombre de points de vente (à possibilité égale).

hyp.  
influence  
n de  
vente  
sur le  
modèle  
faible  
forte!  
3.  
C'est  
dans 1  
PLV  
à  
roûte  
forte

#### 4.3.4. Des seuils effacés

Le formalisme utilisé, de type gravitaire, suppose des gradients continus des flux. Tout village produit du bois en plus ou moins grande quantité. Cependant, l'analyse spatiale de la filière a mis en évidence un certain nombre de seuils conditionnant l'activité : **seuil de distance de collecte, seuil de distance du point de vente, seuil de saturation de l'espace**. On pourrait vraisemblablement ajouter un seuil minimal de **revenu** en dessous duquel, le bois devient une nécessité pour parvenir à satisfaire les besoins alimentaires. Le modèle actuel rend difficilement compte de ces phénomènes qui pourraient expliquer certaines discontinuités observées.

#### 4.3.5. Les écarts entre modèle arborescent et modèle gravitaire simple

En première approche, dans des conditions de paramétrages similaires, deux différences majeures apparaissent :

Le modèle arborescent simule des flux jusqu'à des distances supérieures au modèle gravitaire simple pour un exposant kilométrique équivalent. Ainsi des villes comme Bougouni, Kangaba ou Fana génèrent-elles des flux plus importants dans le premier cas que dans le second ce qui semble correspondre à une réalité.

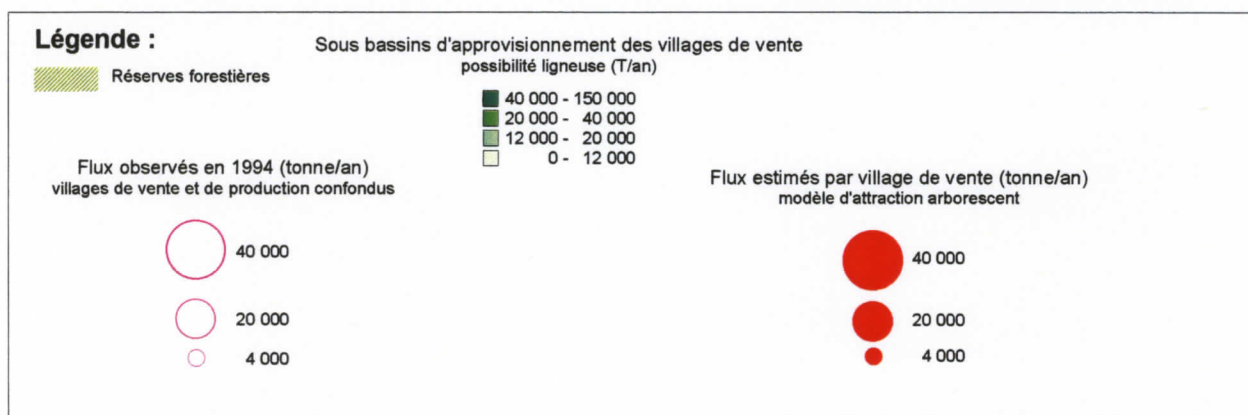
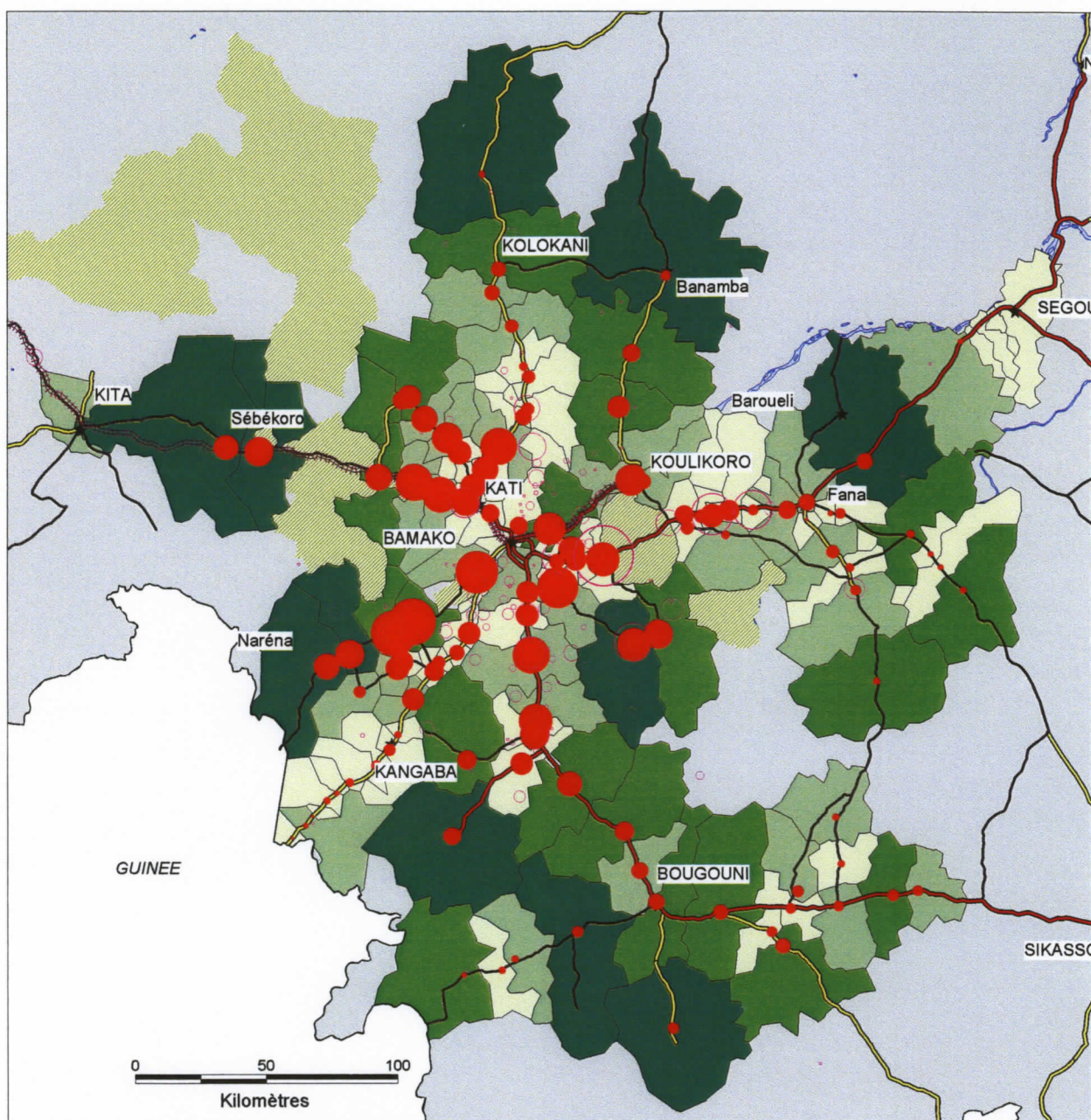
Le modèle arborescent tend à concentrer les flux le long des axes routiers alors que le modèle classique tend à les répartir de manière plus homogène dans tout l'espace.

Nous ne pourrions aller au-delà de ces simples constatations faute de données fiables sur lesquelles valider les flux simulés et réellement comparer les méthodes. Cependant, il est certain que le modèle arborescent offre une plus grande souplesse pour approcher les

différents gradients observés (par rapport à la ville, par rapport à la route et par rapport à la concurrence).

Quel choix de cellule ?

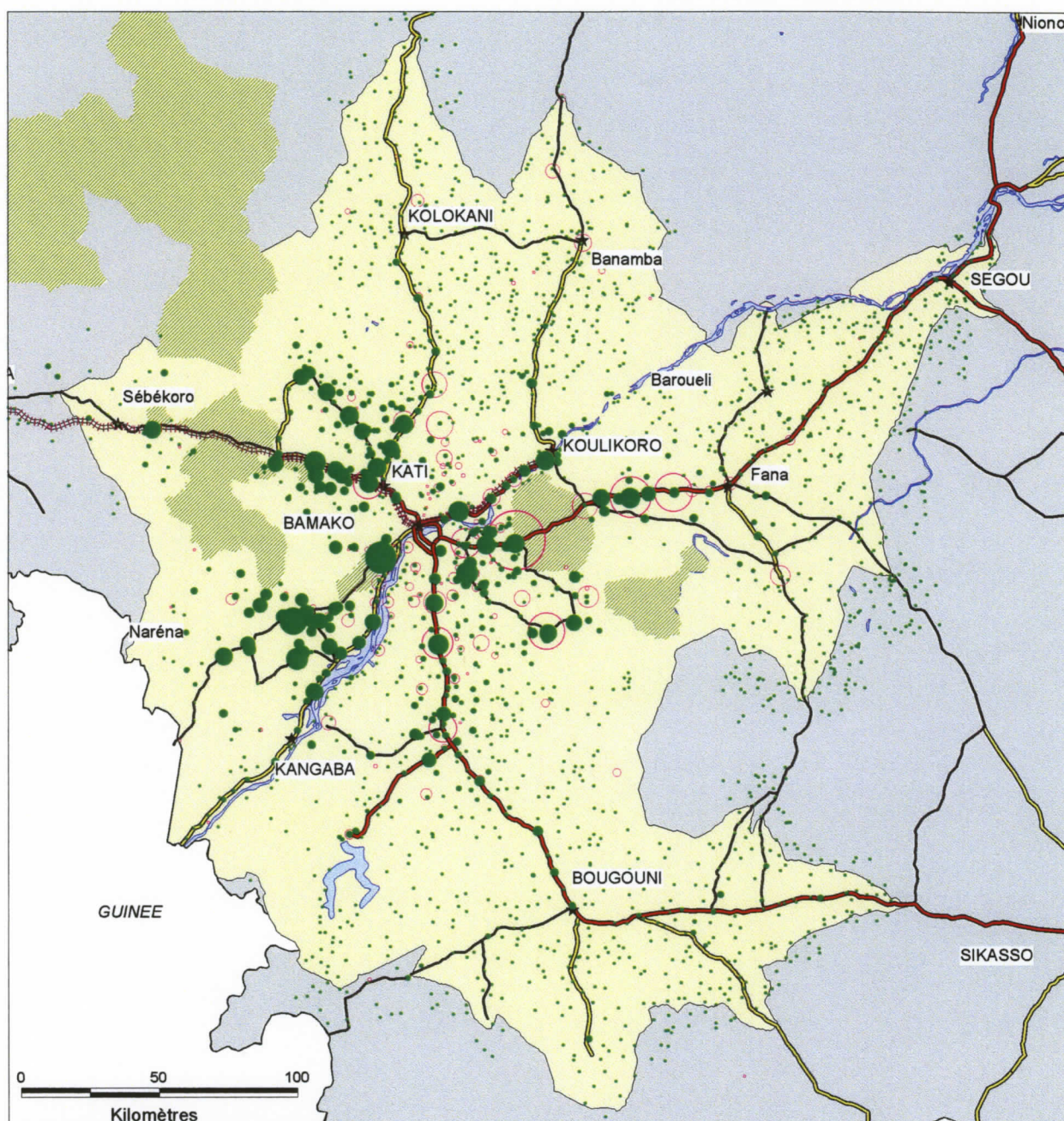




DE H. P. V.

Carte 9 : Répartition spatiale des flux de bois modélisés au niveau des villages de vente (modèle arborescent)





### Légende :

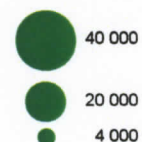
Reserves forestières

Limites de bassin d'approvisionnement modélisé  
(Distance-coût = 240 km)

Flux observés en 1994 (tonne/an)  
villages de vente et de production confondus

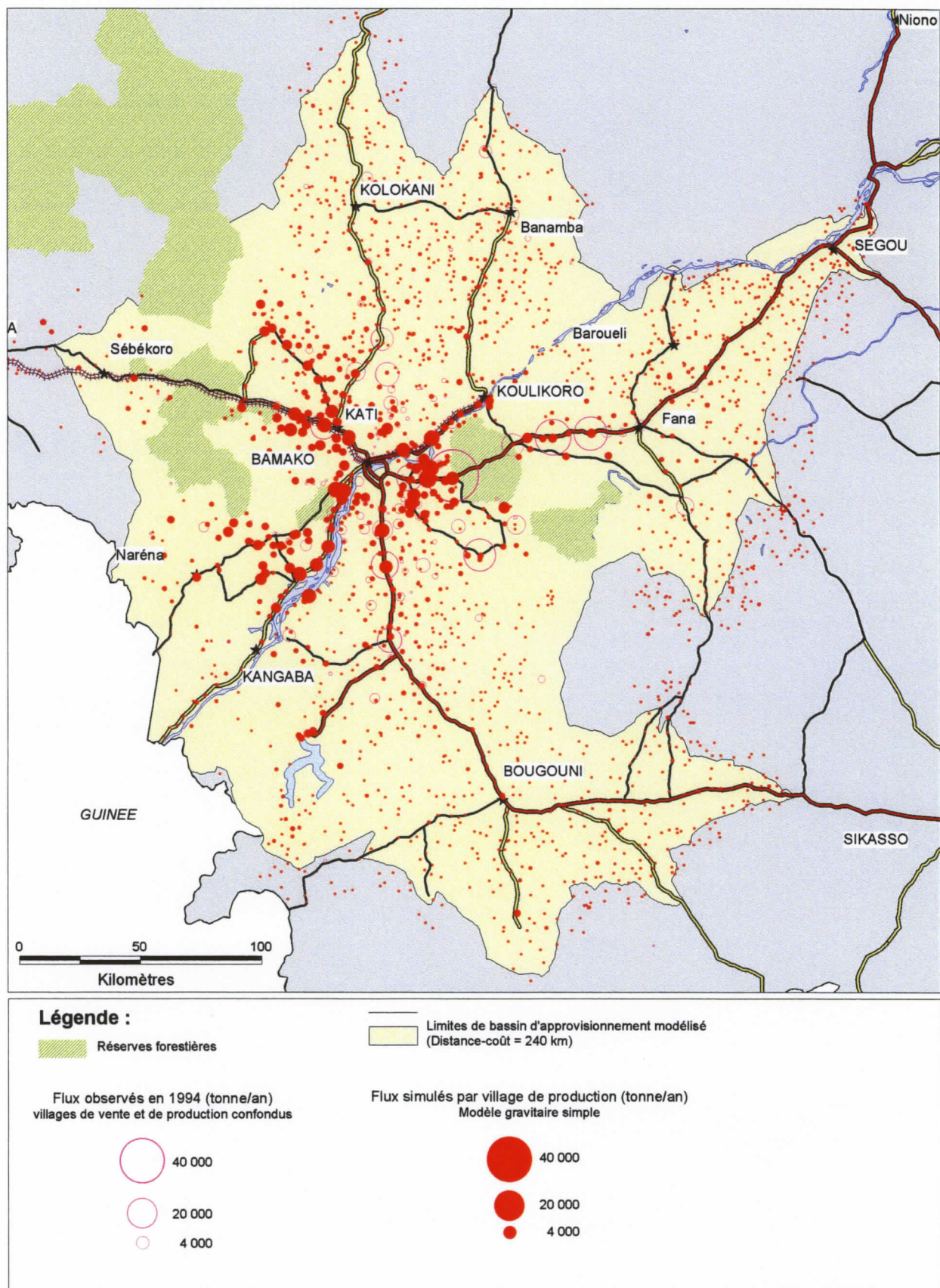


Flux estimés par village de production (tonne/an)  
modèle d'attraction arborescent



Carte 10: Répartition spatiale des flux de bois modélisés au niveau des villages de production vente (modèle arborescent)





**Carte 11: Répartition spatiale des flux de bois modélisés au niveau des villages de production vente (modèle classique bipolaire)**



## 5. Conclusions et perspectives

L'objectif général de ce travail était d'appréhender l'organisation spatiale d'une activité, l'exploitation du bois-énergie, au travers des relations économiques entre les acteurs et de leurs préférences spatiales.

Le concept de filière permet d'appréhender une activité économique en terme de relations entre les différents acteurs (fournisseurs, transporteurs, clients ...). Très naturellement, ce type d'approche privilégie l'étude des flux de matière depuis leur lieu d'extraction jusqu'à leur lieu de consommation.

Par rapport à une analyse économique « classique » de l'équilibre offre/demande, l'approche d'une activité par sa filière permet plus facilement de localiser la production, la distribution et les échanges et de les lier avec les relations sociales et les hiérarchies entre les acteurs [RIB90, RIB98].

La professionnalisation des filières agricoles comme celles d'exploitation des ressources naturelles s'accompagne d'une spécialisation des acteurs et d'une multiplication des intermédiaires entre producteurs et consommateurs. La transformation des produits bruts (bois, lait, viande ...) en produits alimentaires et la vente aux consommateurs, qui étaient autrefois assurées par les exploitants sont désormais du ressort d'industriels ou de vendeurs spécialisés.

Dans les pays en voie de développement, le manque d'infrastructures routières, les difficultés d'accès au crédit et aux intrants exacerbent le rôle de l'espace dans la gestion des ressources naturelles et la production agricole. Même si les coûts de transport tendent d'une manière générale à diminuer, la localisation des ressources et des acteurs continue de jouer un rôle prépondérant dans la logique des échanges.

A tous les niveaux, le poids de l'organisation spatiale de la ressource et des acteurs rend pertinente une approche des flux par un modèle gravitaire.

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire s'est attaché principalement à formaliser un modèle d'interactions prenant en compte les différents intervenants d'une filière, leurs localisations et leurs comportements. Le modèle d'attraction développé considère la filière comme une structure spatiale arborescente permettant l'acheminement de biens depuis des « nœuds » de production jusqu'à un lieu central de consommation en passant par des nœuds d'échange intermédiaires. Chaque nœud terminal ou intermédiaire est une entité géographique dont la localisation et la dimension spatiale influencent le choix des acteurs économiques. Entre chaque nœud, les flux sont modélisés par un modèle gravitaire de type Fotheringham tenant compte de la concentration des destinations [FOT91].

Comme tout modèle gravitaire, ce modèle d'attraction arborescent équilibre l'offre et la demande à l'échelle de l'aire de marché mais également au niveau de chaque nœud : la production sortante est égale à la somme des productions entrantes.

La construction finale du modèle repose sur une démarche alliant analyse économique de la filière, analyse spatiale de l'aire de marché et étude des préférences des acteurs. Chaque acteur économique (consommateur, vendeur, producteur) est replacé dans son contexte géographique afin de dégager les entités spatiales pertinentes à prendre en compte et de comprendre le rôle de l'espace sur son activité. Plaçant notre travail dans une perspective de recherche-action, les stratégies de localisation sont alors traduites en terme de paramètres observables et mesurables au niveau de chacune des entités géographiques identifiées. Ils sont introduits dans la formulation de l'émissivité ou de l'attractivité des entités en interaction.



Le modèle et la démarche d'analyse ont été appliqués sur la filière d'approvisionnement en « bois-énergie » de la ville de Bamako. Cette dernière est en passe de devenir la forme dominante d'exploitation et de commercialisation du bois-énergie dans tous les pays sahéliens ayant mis en œuvre une politique énergétique dite « Stratégie Energie Domestique ».

Cette filière a été modélisée sous la forme d'un arbre à deux niveaux : la « production primaire » et la « distribution en gros ». Dans ce type de filière, le producteur primaire, est totalement dépendant du grossiste pour la commercialisation de son produit. Ce dernier a un rôle central : il contrôle à la fois la mise sur le marché du produit (achat en gros), le transport et une partie de la distribution finale.

L'analyse spatiale du bassin d'approvisionnement de Bamako met en évidence que les échanges au sein de la filière dépendent essentiellement de 5 facteurs :

**La distance** : elle intervient à tous les niveaux au travers des coûts de transport et au niveau villageois au travers du temps passé à la collecte de la ressource.

**L'organisation spatiale des acteurs et de la ressource** : la concentration des points de vente est une tendance actuelle, favorisée par les autorités de contrôle et par la profession; la dispersion de la ressource, quant à elle, augmente l'effort de collecte.

**L'abondance de la ressource** : paradoxalement, les effets de l'abondance sont sans doute les plus difficiles à mettre en évidence. La raison principale est sans doute la forte incertitude sur ce paramètre. Pour les grossistes, elle est gage d'un approvisionnement régulier; pour les producteurs, elle a le double effet d'offrir un potentiel de production plus grand, mais également de diminuer l'effort de collecte.

**La disponibilité de la ressource** : les règles d'accès à la ressource sont en théorie les mêmes partout. Cependant en pratique, la valeur marchande du bois et la concurrence pour la terre renforcent la maîtrise foncière sur les espaces boisés. Au niveau des villages, l'exploitation du bois tend à être repoussée vers les brousses à la périphérie du village et des champs. Autour du centre urbain consommateur, la spéculation foncière à des fins immobilières, le développement du maraîchage, la raréfaction des terres entraînent également une appropriation de plus en plus grande des ressources forestières rendant leur exploitation de plus en plus difficile à mesure que l'on se rapproche de la ville.

**La disponibilité en main-d'œuvre** : Comme la plupart des activités en milieu rural, l'unité économique de production est la famille. L'agriculture demeure l'activité principale des familles. Le bûcheronnage ou le charbonnage sont encore à l'heure actuelle des activités secondaires de diversification des revenus. La main-d'œuvre juvénile (entre 10 et 15 ans) est souvent la seule main-d'œuvre réellement disponible pour l'exploitation du bois.

Malgré une grande incertitude sur les données utilisées, l'application du modèle sur un cas concret est néanmoins source d'enseignements.

- D'un point de vue pratique, elle nous a permis de valider la chaîne informatique de traitement des données géographiques mise en place sur trois outils : un SIG raster, un SIG vecteur et un système gestionnaire de base de données relationnelles (SGBDR).
- D'un point de vue conceptuel, elle a mis en évidence le besoin de bien définir la mesure de l'éloignement ainsi que l'importance du choix des critères aboutissant à l'identification des nœuds du modèle (choix des entités de production et de vente).
- Elle a également montré la capacité d'analyse de l'outil en révélant notamment des écarts importants de comportements entre l'est et l'ouest du bassin.

Les utilisations possibles d'un tel modèle sont essentiellement de deux types :

**L'analyse régionale** de la structure spatiale de la filière. Le modèle reflète le comportement moyen des acteurs, fortement emprunt de rationalité économique. Les écarts entre flux



simulés et flux observés révèlent les spécificités locales : axes préférentiels, barrières naturelles ou culturelles, spécialisations .... Son application dans le cadre des SDA devrait permettre d'adapter les prescriptions en matière de gestion de la ressource.

**La simulation d'évolutions locales des conditions d'accès aux ressources.** Le modèle permet de prédire les nouveaux équilibres résultants d'un certain nombre de changements locaux au sein d'un bassin : la réfection d'une route, l'augmentation de la population, la diminution locale des ressources ou encore l'accroissement du contrôle sur ces dernières. Typiquement, dans le cas de Bamako, il pourrait simuler l'effet de l'asphaltage des voies de communication en direction du Sénégal.

Les limites sont néanmoins importantes. Comme nous l'avons vu précédemment, le modèle suppose une concurrence fortement monopolistique et surtout stable dans le temps. Les lieux d'échange attirent une « clientèle » captive. Chaque producteur reste fidèle à un lieu de mise sur le marché (un marché, une coopérative ...); chaque détaillant ne fréquente qu'un seul marché de gros.

Si les règles d'échanges sont profondément modifiées ou si la structure de la demande change, le modèle ne peut rendre compte de ces bouleversements. Ainsi, dans le cas du bois-énergie, le modèle ne peut répondre par exemple à la question d'une conversion vers des énergies de substitution (gaz, pétrole ...).

Au stade actuel de son développement, le modèle permet, dans une configuration donnée de la filière, de prédire et d'expliquer *comment l'organisation spatiale de la ressource et des acteurs influence l'intensité des échanges au sein d'une filière.*

Faute de données et de temps, nous n'avons malheureusement pas pu intégrer le niveau infravillageois mettant en relation la ressource elle-même (principalement les brousses) avec les producteurs. L'utilisation d'images satellitales devraient nous permettre d'affiner le modèle afin d'y intégrer ce segment.

Par nature, les productions agricoles et l'exploitation des ressources naturelles ont une forte inscription spatiale. L'effort de déplacement interne à l'unité de production (le village, l'exploitation agricole) et les règles d'accès aux ressources sont des éléments essentiels qui d'une part conditionnent l'intensité de prélèvement mais d'autre part façonnent l'espace de production.

Une des perspectives majeures d'évolution du modèle est de pouvoir prédire l'organisation spatiale de la ressource à l'échelle du marché et à l'intérieur des espaces de production et ainsi de pouvoir répondre à la question : *comment, en retour, l'activité d'exploitation structure-t-elle l'espace?*

Pour cela, le modèle actuel devra évoluer vers un modèle dynamique ou tout du moins être associé à un autre modèle prenant en compte les changements d'occupation des sols. Ce couplage avec un outil d'analyse des dynamiques d'occupation des sols permettrait également de valider et de calibrer le modèle actuel dans la mesure où il pourrait indirectement mesurer la pression de prélèvement.

Ce travail très méthodologique trouvera naturellement son prolongement dans un projet de thèse dont la problématique principale restera celle de la dialectique acteurs/ressources/espace au travers de l'analyse spatiale des filières d'exploitation.

L'architecture générale du modèle offre une grande souplesse pour restituer les relations économiques et les préférences spatiales des acteurs. Il devra cependant être affiné pour rendre mieux compte de phénomènes de seuils.

Comme nous l'avons constaté, la validation directe de ce type de modèle régional est difficile et nécessiterait la mesure des flux dans un grand nombre de villages. Une validation indirecte



à partir de l'observation par satellite des dynamiques du couvert forestier semblerait prometteuse. Une telle démarche nous permettrait également de caractériser l'organisation spatiale au sein des espaces de production et d'étendre ainsi le modèle.

Malheureusement, les paysages du terrain malien étudié sont complexes. Leur interprétation au travers d'images satellitales est difficile. Des variations saisonnières très importantes et une forte imbrication des ressources forestières et de l'agriculture imposent des résolutions spatiales et temporelles fines.

En conséquence, un autre terrain sur lequel les dynamiques de la ressources seraient plus lisibles apparaît souhaitable. A priori, le choix se porterait sur l'analyse spatiale d'une filière d'exploitation de bois d'œuvre en Amazonie brésilienne.

L'utilisation du modèle sur deux terrains permettrait de valider la démarche et d'éprouver la souplesse du modèle dans des conditions économiques, des règles d'accès aux ressources et des stratégies d'acteurs différentes.

## Liste des sigles et abréviations

<b>B.M.</b>	Banque Mondiale
<b>CCL</b>	Cellule Combustibles Ligneux (Mali)
<b>CIRAD</b>	Centre International de Recherche en Agronomie pour le Développement
<b>CMDT</b>	Compagnie Malienne de Développement des Textiles
<b>CTFT</b>	Centre Technique Forestier Tropical
<b>DNEF</b>	Direction Nationale des Eaux et Forêts (Mali)
<b>DNSI</b>	Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique (Mali)
<b>ESMAP</b>	Energy Sector Management Assistance Program
<b>FAC</b>	Fonds d'Aide et de Coopération de la République Française
<b>IER</b>	Institut d'Economie Rurale
<b>IIED</b>	International Institute for Environment and Development
<b>IDS</b>	Institute of Development Studies (Sussex)
<b>IPR</b>	Institut Polytechnique Rural de Katibougou
<b>PEII</b>	Projet Energie Domestique II (Niger)
<b>PIRL</b>	Projet Inventaire des Ressources Ligneuses
<b>PNUD</b>	Programme des Nations Unies pour le Développement
<b>SED</b>	Stratégie Energie Domestique
<b>AGRHYMET</b>	Institution spécialisée du CILSS pour l'information et la formation en agro-écologie
<b>CILSS</b>	Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel



## Liste des figures, cartes et tableaux

### Figures :

Figure 1 : Approches et modèles d'analyse des aires de marché .....	3
Figure 2 : La formation de l'équilibre spatial löschien .....	6
Figure 3 : Hiérarchisation des centres commerciaux et de services selon la théorie des places centrales (Christaller et Lösch).....	7
Figure 4 : Organisation spatiale de la production agricole selon le modèle de von Thünen.....	19
Figure 5 : Localisation optimale d'un site industriel selon le modèle de Weber.....	22
Figure 6 : Position de la limite en entre deux aires de marché selon le modèle de Reilly.....	24
Figure 7: Mise en évidence de l'indépendance du modèle gravitaire aux formes d'organisations spatiales des destinations (d'après Fotheringham).....	26
Figure 8 : Effets négatifs de l'agglomération des destinations sur les interactions individuelles avec un centre unique selon le modèle originel de Fotheringham (1983).....	28
Figure 9 : Trajectoires temporelles de prix et de quantités prélevées selon le modèle de Hotelling (d'après Faucheux et Noël [FAU95]) .....	33
Figure 10 : Demande potentielle totale en énergies traditionnelles de cinq pays sahéliens à l'horizon 2020 (Burkina Faso, Gambie, Mali, Niger, Sénégal) -Source : [MIN01].....	40
Figure 11 : Evolution du bilan (Production annuelle – consommation annuelle ) jusqu'à l'horizon 2010 dans la région de Bamako. (Source : CCL 1998).....	42
Figure 12 : Les deux grands types de filières bois-énergie au Sahel.....	52
Figure 13 : Modèle d'attraction classique (a) et modèle arborescent proposé : Une attraction avec relais ramifiés et hiérarchisés (b).....	74
Figure 14 : Organisation et hiérarchisation du réseau routier autour du centre urbain modélisé. ....	77
Figure 15 : Organisation spatiale des entités modélisées.....	82
Figure 16 : Evolution des quantités prélevées en fonction de la distance à Bamako. ....	83
Figure 17 : Gradient tangentiel de production par rapport aux axes de communication .....	84
Figure 18 : Evolution de l'éloignement des zones de production par rapport aux routes et des productions unitaires villageoises en fonction de la distance à la ville. ....	84
Figure 19 : Modèles graphiques de l'aire d'approvisionnement en bois-énergie d'une grande ville sahélienne.....	86
Figure 20 : Effets de la distance parcourue pour la collecte de bois sur la consommation moyenne des ruraux et sur le temps de corvée dans 15 villages maliens. ....	88
Figure 21 : Diminution de la consommation moyenne des ruraux en fonction de la distance de collecte dans 14 villages soudaniens (source : [OLS85]). ....	89
Figure 22 : Evolution de la distance de collecte en fonction de la population des villages. Source : Enquête datant de 1985 sur 14 villages du centre du Soudan (Région de Umm Ruwaba) [OLS85] ....	91
Figure 23 : Forme « en cloche » de l'évolution de la production en fonction de la densité de population des villages.....	91
Figure 24 : Modélisation de la préférence pour le travail, la disponibilité de la ressource et de la préférence globale en fonction de la population du village .....	92
Figure 25 : Evolution de la marge des grossistes et de la production en fonction de l'éloignement des points de vente.....	96
Figure 26 : Evolution des quantités produites en fonction de l'accessibilité à la ville et de la possibilité ligneuse.....	97
Figure 27 : Formalisation de la relation entre Prélèvement, Possibilité et Distance au niveau du point de vente.....	97
Figure 28 : Principe de réduction des flux avec le nombre de points de vente (à possibilité égale). .	106

### Encadrés:

Encadré 1 : La stratégie Energie Domestique des pays sahéliens (sources ESMAP) .....	53
Encadré 2 : Chronique d'une vente de charbon sur le marché de Markacoungo (Mali) .....	81



## Tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques générales des 4 grands modèles de l'économie spatiale classique (d'après [KRU02]) .....	17
Tableau 2 : La part du bois-énergie dans le bilan énergétique du Mali.....	37
Tableau 3 : Comparaison des consommations moyennes annuelles par individu (m3/hab/an) dans différentes régions d'Afrique. (source : FAO-WETT 1999 [AMO99]) .....	37
Tableau 4 : Evolution des consommations moyennes annuelles par individu (Kg/hab/an) dans différentes régions du Mali. (source : FAO-WETT 1999 [AMO99]) .....	38
Tableau 5 : Stock sur pied et production annuelle de biomasse ligneuse (troncs et branches) pour différents types de formations végétales en Afrique Sub-Saharienne. (source : Banque Mondiale 1994) .....	41
Tableau 6 : Comparaison des revenus moyens des bûcherons et charbonniers au Mali et au Sénégal au regard de leurs dépenses alimentaires .....	48
Tableau 7 : Occupation des sols dans le bassin de Bamako (Source PIRL 1991). .....	61
Tableau 8 : Population du bassin d'approvisionnement de Bamako. ....	62
Tableau 9 : Evolution de la consommation en bois-énergie de Bamako entre 1989 et 2000. ....	68
Tableau 10 : Eloignement des villages de production par rapport aux points de vente bord de route en fonction de la distance à la ville de Niamey (sources : [PEI91]) .....	85
Tableau 11 : Structure des prix (en FCFA) du bois de feu et du charbon dans différentes capitales du Sahel (sources : [RIB95], [PEI91], [CCL98], [BAZ01]).....	95
Tableau 12 : Coûts unitaires de transport selon le type de voie de communication.....	103

## Cartes :

Carte 1 : Plan de situation du bassin d'approvisionnement de Bamako .....	59
Carte 2 : Zones bioclimatiques et végétation dominante du bassin de Bamako .....	61
Carte 3 : Répartition spatiale de la population du bassin de Bamako.....	63
Carte 4 : Organisation des voies de communication (routes, voie ferrée et fleuve). ....	66
Carte 5 : Les principaux systèmes de culture du bassin de Bamako . (Source : Atlas de l'Afrique 2000 [JA00]). .....	67
Carte 6 : Exportations annuelles de bois-énergie (T/an) dans le bassin de Bamako [Source : Enquête CCL 1994]. .....	70
Carte 7: Possibilité ligneuse moyenne par arrondissement (tonne/ha/an) .....	72
Carte 8 : Organisation spatiale d'un village sahélien. L'exemple de Sanankoro au Mali (Source : image LANDSAT 7 nov 1999. Composition colorée canaux 5,4,3 + panchromatique).....	79
Carte 9 : Répartition spatiale des flux de bois modélisés au niveau des villages de vente (modèle arborescent).....	108
Carte 10: Répartition spatiale des flux de bois modélisés au niveau des villages de production vente (modèle arborescent).....	109
Carte 11: Répartition spatiale des flux de bois modélisés au niveau des villages de production vente (modèle classique bipolaire) .....	110



## Références bibliographiques

- [ALL02] Allison, G.T. et Zelikow P.D., 2002, "L'essence de la décision. Le modèle de l'acteur rationnel.", *Cultures et conflits*, vol. 36.
- [AMO99] Amous, S., 1999, *The role of wood energy in Africa*, FAO, Rome.
- [ANT00] Antona, M., 2000, "Régulation d'une filière d'exploitation d'une ressource renouvelable: le bois énergie au Niger. Une approche par systèmes multi-agents et simulations", *Mémoire de DEA*, Université Montpellier I, Montpellier.
- [BAR97a] Barrière, O. et Barrière C., 1997, "Le foncier-environnement. Fondements juridico-institutionnels pour une gestion viable des ressources naturelles renouvelables au Sahel", F.A.O., Rome.
- [BAU96] Baumont, C. et Huriot J.M., 1996, "De Von Thünen à Fujita: continuité ou rupture ?", Université de Bourgogne - Faculté de science économique et de gestion, Dijon.
- [BAZ98] Bazile, D., 1998, "La gestion des espèces ligneuses dans l'approvisionnement en énergie des populations. Cas de la zone soudanienne du Mali", *Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Géographie*, Université de Toulouse-Le-Mirail, Toulouse.
- [BEC01] Becker, L.C., 2001, "Seeing green in Mali's woods: colonial legacy, forest use, and local control.", *Annals of the association of american geographers*, vol. 91(3), p. 504-526.
- [BEG94] Beguin, H., 1994, "Marché et espace", *Encyclopédie d'économie spatiale*, Auray J.P. et al (eds), Economica, Paris.
- [BEN97] Benjaminsen, T.A., 1997, "Natural resource management, paradigm shifts, and the decentralization reform in Mali.", *Human Ecology*, vol. 25(1), p. 121-143.
- [BIL94] Billot, A., 1994, "Les préférences spatiales", *Encyclopédie d'économie spatiale*, Auray J.P. et al (eds), Economica, Paris.
- [BON01] Bonnefoy, J.-L., Bousquet F. et Rouchier J., 2001, "Modélisation d'une interaction individus, espace, société par les systèmes multi-agents : pâture en forêt virtuelle.", *L'espace géographique*, vol.1(1), p 13-25.
- [BRO01] Brondeau, F., 2001, "Evolution de la filière bois énergie et dynamique des formations ligneuses autour de l'Office du Niger.", *Bois et forêts des tropiques*, vol. 270(4).
- [BRU80] Brunet, R., 1980, "La composition des modèles dans l'analyse spatiale.", *L'Espace géographique*, vol.4(4), p. 253-265.
- [BRU93] Brunet, R., Ferras R. et Thery H., 1993, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Reclus - La documentation française, Paris.
- [BUT01] Buttoud, G., 2001, *Gérer les forêts du sud*, L'harmattan, Paris.
- [CAT94] Catin, M., 1994, "Economies d'agglomération", *Encyclopédie d'économie spatiale*, Auray J.P. et al (eds), Economica, Paris.
- [CCL98] CCL, Cellule Combustibles Ligneux, 1998, "Schéma directeur d'approvisionnement en bois-énergie de Bamako", Ministère du développement rural et de l'eau du Mali,
- [CEN96] Centres, J.M., 1996, "L'élevage et l'agriculture en zones urbaines et périurbaines dans deux villes sahéliennes : Bamako et Bobo-Dioulasso.", *Cahiers "Agricultures"*, vol.5(5), 373-382.
- [CHA98] Chasco, C. et Vicens J., "Spatial interaction models applied to the design of retail trade areas", *38th Congress of the European Regional Science*, Vienne (Autriche), 1998.
- [CHO97] Chomitz, K.M. et Griffiths C., 1997, "An economic analysis of woodfuel management in the Sahel: the case of Chad", World Bank, New York.
- [CLI87] Cline-Cole, R.A. et al et, 1987, "Wood fuel in Kano. Final report of the rural energy project", Bayero University, Kano.
- [CLI90] Cline-Cole, R.A., Main H.A. et Nichol J.E., 1990, "On fuelwood Consumption, population dynamics and deforestation in africa.", *World Development*, vol.18-avrp. 513-527.
- [CLI97] Cline-Cole, R.A., 1997, "Promoting (anti-)social forestry in northern Nigeria?", ROAPE,
- [COO88] Cooper, L.G. et Nakanishi M., 1988, *Market-share analysis*, Kluwer Academic Publishers,
- [DAN01] Daniel, K., 2001, "Localisation des productions agricoles et concentration géographique de la demande.", *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, vol. 58-59.

ANT 98 ?

no  
eaghet



- [DAO00] Dao, A., M. Tangara et Z. Daiallo, 2000, "Pauvreté et inégalités structurelles au sein des filières de production maliennes."
- [DUR01b] Durand-Dastès, F., 2001, "Les concept de la modélisation en analyse spatiale", *Modèles en analyse spatiale*, Sanders L. (dir), Hermès, Paris.
- [DUR01] Dureau, F. et Weber C., 2001, "D'images en modèles: applications satellites et association de modèles", *Modèles en analyse spatiale*, Sanders L. (dir), Hermès, Paris.
- [ESM88] ESMAP, 1988, "Niger - Household energy conservation and substitution", World Bank, ESM82, New York.
- [ESM92] ESMAP, 1992, "Mali - Household energy strategy", World Bank, ESM147, New York.
- [ESM93] ESMAP, 1993, "Elements de strategie pour l' energie domestique urbaine : le cas de N' Djamena", Wprld Bank, ESM160, New York.
- [ESM01] ESMAP, 2001, "Sustainable woodfuel supplies from the dry tropical woodlands. A draft discussion paper", Energy Sector Management Assistance Programme - World Bank, Report 013/01, New York.
- [FAU95] Faucheux, S. et Noël J.F., 1995, *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*, Armand Colin, Paris.
- [FOL02] Foley, G., Kerkhof P. et Djibrilla M., 2002, "A review of the rural firewood market strategy in west africa", World Bank, 35, OK  
Chape Q.
- [FOT83] Fotheringham, A.S., 1983, "A new set of spatial-interaction models: the theory of competing destinations.", *Environment and planning A*, vol.15 p 15-36.
- [FOT88] Fotheringham, A.S., 1988, "Consumer store choice and choice set definition.", *Marketing Science*, vol.7(3), 299-306.
- [FOT91] Fotheringham, A.S., 1991, "Statistical modeling of spatial choice.", *Research in Marketing*, vol. 5 p. 95-117. → (E)
- [FUJ94] Fujita, M., 1994, "L'équilibre spatial - L'interaction entreprises ménages", *Encyclopédie d'économie spatiale*, Auray J.P. et al (eds), Economica, Paris.
- [FUJ97] Fujita, M. et Thisse J.F., 1997, "Economie géographique, problèmes anciens et nouvelles perspectives.", *Annales d'économie et de statistique*, vol. 45.
- [FUJ01] Fujita, M. et Thisse J.F., 2001, "Agglomération et marché.", *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, vol. 58-59.
- [GAL02] Galtier, F., Bousquet F., Antona M. et Bommel P., 2002, "Les marchés comme systèmes de communication. Une évaluation de la performance de différentes institutions de marché à l'aide de simulations.", (*en soumission*).
- [GAY95] Gay, J.C., 1995, *Les discontinuités spatiales*, Economica, Paris.
- [GEN00] Gèneau de Lamarlière, I. et Staszak J.F., 2000, *Principes de géographie économique*, Bréal, Paris.
- [HAR01] Harris, B., 2001, "Accessibility: concepts and applications.", *Journal of tansport statistics*, vol. 4(2/3).
- [HAU01] Hautdidier, B., 2001, "Les marchés ruraux de bois au Mali, un modèle de gestion forestière communautaire en question", *Mémoire de DEA*, Université d'Orléans, Orléans.
- [HAU02] Hautdidier, B., Gautier D. et Boutinot L., 2002, "La mise en place de marchés ruraux de bois au Mali: un événement spatial et territorial.", *L'espace géographique*, vol. (à paraître).
- [HAY84] Haynes, K.E. et Fotheringham A.S., 1984, *Gravity and spatial interaction models*, Sage Publications,
- [HIL99] Hilhorst, T. et Toulmin C., 1999, "Pérénité et diversité : Stratégies des foyers en milieu rural au Mali", IER, IDS & IIED,
- [HOB96] Hobley, M., 1996, "Institutional change within the forestry sector: centralised decentralisation.", Overseas Development Institute, Working paper D61,
- [HOL01] Holm, E. et Sanders L., 2001, *Modèles spatiaux de microsimulation*, Hermès,
- [HUR94] Huriot, J.M. et Perreur J., 1994, "Espace et distance", *Encyclopédie d'économie spatiale*, Auray J.P. et al (eds), Economica, Paris.
- [JOE01] Joerin, F., Thériault M., Villeneuve P. et Bégin F., 2001, "Une procédure multicritère pour évaluer l'accessibilité aux lieux d'activité.", *Revue internationale de géomatique*, vol. 11(1), p. 69-104.

**Holm?**  
JAG-00?  
HUFF?  
NEBRAD.  
↓  
modèle logit  
de [doc 00]



- [KAI98] Kaimowitz, D. et Angelsen A., 1998, *Economic Models of Tropical Deforestation - A Review*, CIFOR, Bogor, Indonesia.
- [KON99] Konate, G., 1999, "Implication des femmes charbonnières et bûcheronnes dans les marchés ruraux", Cellule combustible ligneux, Bamako (Mali).
- [KRU02] Krumme, G., "Marshall, Predoehl, Isard, Moses and beyond: locational substitution", <http://faculty.washington.edu/krumme>, 2002. ] ou
- [LAA99] Laaribi, 1999, *SIG et analyse multicritère*, Hermès, Paris.
- [LAM94] Lambin, E.F., 1994, "Modelling deforestation processes. A review", European Commission, Trees series B, Redemander à lauréat.
- [LAR90] Lardon, S., Deffontaines J.P., Baudry J. et Benoit M., 1990, "L'espace est aussi ailleurs", *Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*, Brossier J., Vissac B. et Le Moigne J.L. (eds), INRA-SAD,
- [LAR98] Lardon, S. et al et, "Modéliser les configurations et les stratégies spatiales dans un système multi-agents pour la maîtrise de dynamiques d'embrousaillement", *Colloque SMAGET - Modèles et systèmes Multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires*, CEMAGREF, Clermond Ferrand, 1998.
- [DOC00] La documentation française, 2000, "Les économètres du quotidien", *L'économie à travers les prix Nobel*, La documentation Française, Paris.
- [LEM95] Le Moigne, J.L., 1995, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris.
- [JA00] Les\_atlas\_jeune\_afrique, 2000, *Atlas de l'Afrique*, Editions du Jaguar, Paris.
- [JA01] Les\_atlas\_jeune\_afrique, 2001, *Atlas du Mali*, les éditions j.a., Paris.
- [LOI98] Loireau, M., 1998, "Espaces-Ressources-Usages. Spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien", *Thèse de doctorat*, Université Montpellier III - Paul Valéry,
- [MAD98] Madon, G., 1998, "Comparaison des coûts des combustibles domestiques.",
- [MAG94] Magassa, M., 1994, "Etude sur les revenus et les dépenses de l'enquête Malienne de conjoncture économique et sociale (EMCES)", World Bank,
- [MAT00] Matly, M., 2000, "La mort annoncée du bois-énergie à usage domestique.", *Bois et forêts des tropiques*, vol.266(4), 43-54.
- [MEA89] Mearns, R. et G. Leach, 1989, "Energy for Livelihoods: Putting People Back into Africa's Woodfuel Crisis", International Institute for Environment and Development, SA18, London.
- [MIN01] Minvielle, J-P., 2001, "La question de l'énergie au Sahel: un futur préoccupant.", *Sciences et changements planétaires / Sécheresse*, vol.12(1).
- [MOL95] Moles, A., 1995, "Vers une psycho-géographie", *Encyclopédie de géographie*, Bailly A., Ferras R. et Pumain D. (dir), Economica, Paris.
- [MOL98] Moller, M.R., 1998, "The changing roles of rural non-agricultural activities in the livelihoods of nigerien peasants", Centre for development research, CDR working paper 98.9,
- [OLS85] Olsson, K., 1985, "Fuelwood demand and supply in the Umm Ruwaba/er Rahad region in N.Kordofan, the Sudan", Laboratory of remote sensing / University of Lund, ISSN 0348-3339, Lund (Sweden). le Vor Web TB
- [RIO92] ONU, 1992, "Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. Principes de gestion des forêts", Organisation des Nations Unies,
- [OPP96] Oppong, J.R., 1996, "Accommodating the rainy season in the third world location-allocation applications.", *Socio-Econ. Plann. Sci.*, vol.30(2), pp 121-137.
- [ORL02] Orlean, A., 2002, "Le renfort du psychologique.", *Libération*, 1.
- [OTT02] Ottaviano, G. et Thisse J.F., 2002, "Agglomeration and economic geography.", (en soumission).
- [PEE96] Peeters, D. et Perreur J., 1996, "L'approche wébérienne de la localisation industrielle et ses extensions: un bilan.", *L'Espace géographique*, vol. 3 p. 273-287. ] →
- [PEI91] PEII, 1991, "Schéma d'approvisionnement en bois-énergie de Niamey", Ministère de l'énergie du Niger - CIRAD,
- [PER94] Perreur, J. et Schärli A., 1994, "La localisation industrielle", *Encyclopédie d'économie spatiale*, Auray J.P et al (eds), Economica, Paris.
- [PIC03] Picard, N., 2003, "Mise au point d'une méthode fiable d'estimation de la productivité des formations arborées et arbustives au Mali", CIRAD, Document de travail,



[PIN95] Pini, G., 1995, "L'interaction spatiale", *Encyclopédie de géographie*, Bailly A., Ferras R. et Pumain D. (dir), Economica, Paris.

[PIR91] PIRL, 1991, "Projet d'inventaire des ressources ligneuses au Mali", Ministère chargé des ressources naturelles et de l'élevage du Mali,

[PON88] Ponsard, C., 1988, *Analyse économique spatiale*, Presses Universitaires de France, Paris.

[PUM97] Pumain, D. et Saint-Julien T., 1997, *L'analyse spatiale - Localisations dans l'espace*, Armand Colin, Paris.

[PUM01] Pumain, D. et Saint-Julien T., 2001, *Les interactions spatiales - Flux et changements dans l'espace géographique*, Armand Colin, Paris.

[REA93] Reardon, T., 1993, *La diversification des revenus au Sahel et ses liens éventuels avec la gestion des ressources naturelles par les agriculteurs*, FAO, Rome.

OK [RIB90] Ribot, J.C., 1990, "Markets, States and environmental policy: The political economy of charcoal in Senegal", University of California, ...?

N [RIB95] Ribot, J.C., 1995, "Le contrôle local des forêts au Mali: Analyse des politiques participatives du point de vue institutionnel. RPTES, Etude régionale (Afrique)", World Bank,

N [RIB98] Ribot, J.C., 1998, "Theorizing access: forest profits along senegal's charcoal commodity chain.", *Development and Change*, vol. 29 p 307-341.

[RIN98] Rindfuss, R.R. et Stern P.C., 1998, *Linking Remote Sensing and social science: The need and the challenges*, National Academy Press, Washington.

[PEI91] SEED et CIRAD, 1991, "Schéma Directeur d'Approvisionnement en bois-énergie de Niamey", Projet Energie II - Ministère des mines et de l'énergie du Niger,

[DPS97] Senegal, Direction de la Prévision et de la Statistique, 1997, "Enquête Sénégalaise auprès des ménages. Rapport de synthèse", World Bank,

[SID97] Sidikou, H.A., 1997, "Droits d'usage traditionnels locaux et demande externe des populations urbaines au Niger", *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*, J.M. d'Herbès, J.M.K. Ambouta et R. Peltier, John Libbey Eurotext,

[SIL00] Silitshena, R.M.K., 2000, *Urban environmental management and issues in Africa south of the Sahara*, United Nation University Press,

[STA01] Starkey, P., 2001, "Solutions pour le transport local - Acteurs, exemples et contre exemples", Programme de politique de transport en Afrique subsaharienne - World Bank, SSATP No. 56F, New York.

[TIM90] Timmermans, H. et Golledge R.G., 1990, "Applications of behavioural research on spatial problems II: preference and choice.", *Progress in human geography*, vol. 14 p.311-354.

[TOU01] Toure, I.O., 2001, "Revue des données du bois-énergie au Mali", Commission Européenne - FAO, GCP/INT/679/EC,

[TRA85] TransEnerg, 1985, "Planification de l'énergie. Annexe III : bois et charbon de bois", République du Mali, Ministère d'Etat chargé de l'équipement, Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie.,

→ [BER99] van den Bergh, J.C.J.M., Ferrer-i-Carbonell A. et Munda G., 1999, "Alternative models of individual behaviour and implications for environment policy.", *Ecological Economics*, vol. 32 (2000) p. 43-61.

[VER94] Vermot-Desroches, B., 1994, "Interactions spatiales", *Encyclopédie d'économie spatiale*, Auray J.P. et al (eds), Economica, Paris.

[VOL99] Volle, P., 1999, *Promotion et choix du point de vente*, Vuibert - FNEGE,

[YIL00] Yildizoglu, M., "Cours d'économie industrielle et de microéconomie", <http://beagle.montesquieu.u-bordeaux.fr/yildi/page0.html>, 2000.

[ZUI96] Zuidema, P.A., Sayer J.A. et Dijkman W., 1996, "Forest fragmentation and biodiversity: the case of intermediate-sized conservation areas.", *Environmental conservation*, vol. 23(4), p. 290-297.

Spr 1/2

Lowence ?  
Ou ? X  
= X  
X

→

]



## **Annexes**

## Annexe I : Calcul de la distance-coût entre deux points

Le calcul de la distance-coût entre deux points a été effectué sous IDRISI32, SIG raster développé par le centre de recherche Clark Labs de Clark University (USA).

Il nécessite la construction préalable d'une **surface de friction**. Cette dernière définit en tout point de l'espace un coût unitaire de déplacement.

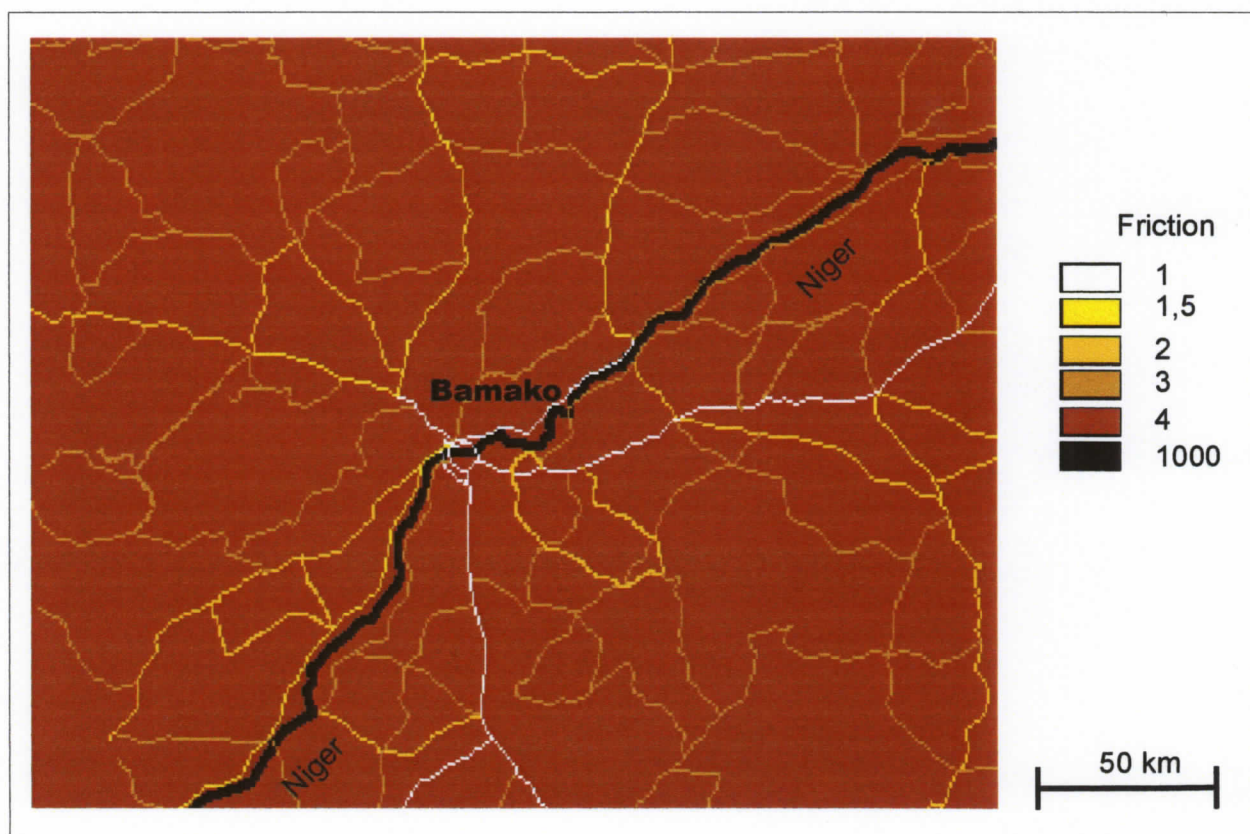
Dans IDRISI, cette surface est représentée par un maillage régulier (une couche raster).

Le **coût de franchissement** de chaque maille (la friction) est fixé relativement à une valeur de base égale à 1. Une valeur de 2 signifie un coût de franchissement double de la valeur de base ; une valeur de 0.5 indique un moitié moindre. La friction est supposée isotrope : Quelle que soit la direction du déplacement, le coût de franchissement est le même.

Les coûts de franchissement de l'espace dépendent de l'occupation des sols. Dans le cas du bassin de Bamako, la valeur de référence a été attribuée aux routes bitumées.

Type d'Occupation des sols	Coût unitaire
Route bitumée	1
Route en terre	1,5
Piste en terre accessible aux transports motorisé	2
Piste en terre accessible non accessible aux transports motorisé	4
Autre espace naturel ou cultivé	4
Fleuve	1000

La figure ci-dessous représente la surface de friction modélisée autour de Bamako .





**Le déplacement de moindre coût** entre deux points correspond au cheminement dont la somme des frictions est minimale. Sur une surface « raster », les mouvements sont possibles dans 8 directions. Les mouvements latéraux ou verticaux produisent un coût égal à la valeur de la friction unitaire et ceux en diagonale sont 1.41 fois plus importants afin de prendre en compte le rapport des distances.

**La distance-coût entre deux points** correspond au coût minimum de déplacement multiplié par la résolution de la maille. Dans la mesure où les frictions n'ont pas d'unité (ce sont des valeurs relatives), la distance-coût peut être exprimée en km.

Pour les besoins de l'analyse spatiale du bassin de Bamako, nous avons calculé les distances-coûts de tous les villages par rapport à Bamako ainsi que les distances-coûts des villages de production par rapport aux routes principales.

La figure ci-dessous illustre les gradients de distance-coût à partir de Bamako sur lesquels ont été surimposés les villages.

